



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

도시계획학 석사학위논문

접근성 지표를 이용한
도로교통망의 취약성 평가
- 서울시 도시고속도로를 대상으로 -

Vulnerability Assessment of Road Networks
Using Accessibility Measures
- Focused on the Urban Expressway in Seoul -

2015년 02월

서울대학교 환경대학원
환경계획학과 교통관리전공
이 상 조

접근성 지표를 이용한
도로교통망의 취약성 평가
- 서울시 도시고속도로를 대상으로 -

지도교수 장 수 은

이 논문을 도시계획학 석사학위논문으로 제출함
2014년 10월

서울대학교 환경대학원
환경계획학과 교통관리전공
이 상 조

이상조의 석사 학위논문을 인준함
2014년 12월

위 원 장 _____ (인)

부위원장 _____ (인)

위 원 _____ (인)

국문초록

도로교통망의 발달은 우리에게 편리함과 이익을 준다. 하지만 자연 재해와 인적재해로 인해 그 기능이 방해를 받을 때는 오히려 우리에게 악영향을 미친다. 이로 인해 해외에서는 재난의 취약성과 도로교통망에 중점을 둔 연구가 진행되고 있다. 국내에서도 도로교통망의 기능에 영향을 주는 재난과 교통사고 같은 사건이 발생하고 사회적 문제로 부각되고 있지만 그에 대한 연구와 논의는 부족한 상태이다. 따라서 본 연구에서는 도로교통망에 영향을 미치는 사건에 의해 서울시의 도시고속도로 중 일부 링크가 폐쇄 되었을 때 그 접근성과 총 통행시간, 총 통행거리를 산출하여 폐쇄되기 전과 비교 후 취약링크를 선별하고 영향을 주는 요인을 개략적으로 파악한다.

총 통행시간은 여의도, 강남, 도심권 등 서울시의 CBD를 이어주는 링크가 폐쇄 되었을 때 통행 시간이 크게 증가하였다. 총 통행거리는 링크 폐쇄 후 오히려 감소하는 구간이 발생을 했고 그 이유는 통행거리가 증가 하더라도 시간이 감소하는 경로로 이용자가 이동을 하는 것으로 파악되기 때문이다. 그리고 총 통행거리가 증가한 구간은 총 통행시간과는 다르게 서울시의 외곽에 위치한 링크들이다. 마지막으로 접근성 지표의 결과는 동부간선도로와 강변북로의 일부가 가장 낮게 산출되었고 이 구간이 서울시의 취약링크로 정의하였다. 그리고 그 분포는 총 통행거리와 비슷하게 도출이 되었다. 그 이유는 도로밀도가 낮은 지역, 그리고 접근성 지표를 도출하기 위해 사용한 통행저항함수의 영향 때문인 것으로 판단된다. 위와 같은 결과가 도출 되는 이유는 하나의 요소로 설명하는 것 보다는 종사자수, 인구밀도, 면적등 여러 가지 요인에 의해 나타나고 있다.

하지만 연구의 가정과 고려된 수단 및 서울시 도시고속도로로 한정하여 분석한 것은 이 연구의 한계로 남아있다.

◆ 주요어 : 취약성, 도로교통망, 접근성 지표, 통행저항함수, 서울시

◆ 학 번 : 2012-22049

목 차

I . 서론	1
1. 연구의 배경 및 목적	1
2. 연구의 대상 및 구성	2
II . 선행연구 고찰	5
1. 도로 교통망 취약성 평가	5
2. 도로교통망 접근성 이론	10
III . 연구의 방법론	16
1. 용어 정의 및 연구 가정	16
2. 접근성 지표 산출	19
3. 통행저항함수 추정	24
IV . 사례 연구	26
1. 사례 연구지역 및 분석 자료	26
2. 접근성 지표 산출	29
3. 소결	47
V . 결론	48
1. 연구의 요약 및 해석	48
2. 연구의 한계 및 향후 과제	49
■ 참 고 문 헌	51
<부록 1> 도시고속도로 정산 결과	53
<부록 2> 구간별 총 통행시간 변화	56
<부록 3> 구간별 총 통행거리 변화	58
<부록 4> 구간별 접근성 지표 변화	60

표 목 차

<표 II-1> 선행연구의 취약성에 대한 정의	7
<표 II-2> 선행연구의 취약성 평가를 위한 지표	8
<표 II-3> 선행 연구의 접근성 정의 및 평가 지표	12
<표 II-4> 접근성 분석 모형의 분류	14
<표 III-1> 통행저항 함수 형태	24
<표 IV-1> 서울시 도시고속도로 현황	28
<표 IV-2> 통행 빈도 히스토그램	31
<표 IV-3> 통행저항함수 추정 결과	32
<표 IV-4> 총 통행시간 산출 결과	33
<표 IV-5> 폐쇄 링크 통과 행정동 사회경제적 요소 (총 통행시간)	38
<표 IV-6> 총 통행거리 산출 결과	39
<표 IV-7> 폐쇄 링크 통과 행정동 사회경제적 요소 (총 통행거리)	41
<표 IV-8> 취약 링크 선정 결과	42
<표 IV-9> 폐쇄 링크 통과 행정동 사회경제적 요소 (접근성 지표)	45

그림 목 차

<그림 I-1> 연구 흐름도	4
<그림 III-1> 접근성 개념도	19
<그림 III-2> 통행저항함수 형태	25
<그림 IV-1> 서울시 도시고속도로 현황	28
<그림 IV-2> 통행빈도 그래프	31
<그림 IV-3> 통행저항함수 추정 결과	32
<그림 IV-4> 총 통행시간 주제도	34
<그림 IV-5> 총 통행거리 주제도	40
<그림 IV-6> 접근성 지표 주제도	43

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

도로교통망의 발달은 우리에게 편리함과 사회경제적으로 많은 이익을 주고 있고 없어서는 안 되는 존재가 되었다. 하지만 도로교통망은 지진, 태풍, 홍수, 폭설등과 같은 자연재해와 교통사고, 도로 붕괴, 테러 등 인적재해가 발생하는 경우 제 기능을 하지 못한다. 재해가 발생하면 해당 도로 뿐 아니라 주변 도로망에도 영향을 미친다. 그 결과 재화의 이동이 원활하지 않아 물류비용이 증가하는 등 기업에는 금전적인 손해를 미칠 수 있다. 또 치안, 화재, 응급의료 등 응급서비스가 필요 한 경우 서비스를 제때 받지 못해 인명피해가 발생하는 최악의 경우도 나타날 수 있다.

해외에서는 1995년 일본의 고베지진, 2001년 미국의 9.11 테러 등 재난에 대한 취약성에 관한 연구뿐 아니라 도로교통망에 중점을 둔 연구도 활발히 진행되고 있다. 이러한 연구에서는 재해의 발생 시 개인의 손해(통행 손실 시간, 통행 손실 비용 등), 접근성의 변화(Hansen Index, ARIA, CCA 등), 사회경제적 손실(총 통행비용 등) 등 취약성의 평가와 취약성을 나타내는 지표에 대한 다양한 방법을 제시하고 있다. 그리고 그 결과는 재해 발생 전·후 대비계획 또는 유지보수 우선순위 결정에 대한 가이드라인의 참고자료로 활용 되고 있다.

국내에서 도로교통망 기능을 현저히 저하시키는 테러 또는 지진은 발생하지 않았다. 하지만 지금까지 발생을 하지 않았을 뿐 앞으로도 계속 발생하지 않을 것이라는 보장은 없다. 또한 여름과 겨울에 폭우와 폭설로 인해 매년 도로교통망의 기능이 저하되는 일이 발생하고 있다. 그리고 한해 20만 건이 넘는 교통사고가 서울에서 발생하여 원활한 교통흐름을 방해하고 있다. 기상상황과 교통사고만이 도로교통망의 기능을 저하시키는 요인은 아니다. 도로교통망의 기능저하는 여러 요인에의 해서

나타 날 수 있다. 하지만 도로교통망을 방해하는 사건들이 매년 예고 없이 나타나고 있고 사회적 문제로 부각 되고 있다. 자연재해와 인적재해 같은 사건의 발생으로 인한 지역, 산업·공업 단지 또는 건물에 대한 취약성 연구는 국내에서도 이루어지고 있다. 하지만 도로 교통망의 기능 저하에 대한 문제는 부각만 될 뿐 연구와 논의는 부족한 상태이다. 따라서 국내에서도 해외처럼 도로 교통망에 중점을 둔 취약성 연구가 필요하다.

그러므로 본 연구는 다음을 주요 연구 목적으로 한다. 첫째, 선행연구검토를 통해 현재 도로교통망에 대한 취약성 정의와 평가지표를 검토하고 시사점을 도출한다. 둘째, 취약성에 대한 정의가 연구마다 다르다는 점에서 본 연구에 적합한 취약성 정의 및 평가지표를 제안한다. 마지막으로 제안된 방법을 실제 네트워크에 적용 및 분석 한다. 또한 분석을 위해 고려해야하는 점들도 검토한다.

2. 연구의 대상 및 구성

1) 연구의 대상 및 범위

본 연구에서는 교통망 취약성 소개 및 정의와 평가 지표를 연구의 대상으로 한다. 세부적으로는 본 연구의 목적 중 하나인 도로교통망 취약성 정의와 평가 지표를 제안하기 위해 국내외 선행 연구 고찰을 통하여 취약성의 정의 및 평가 지표를 조사한다. 또한 본 연구에서 제안하는 지표를 이용하여 실제 네트워크에서 사례분석을 실시한다.

사례 분석을 위한 자료는 수도권교통본부에서 제공하는 O/D 및 네트워크 자료를 이용한다. 그리고 사례분석 지역은 서울시로 정하고 서울시의 도시고속도로로 한정한다. 이 후 사건 발생으로 인한 링크 폐쇄의 영향으로 변하는 접근성 지표를 이용하여 취약 링크를 선정한다.

2) 연구의 구성

본 연구는 II장의 선행연구, III장의 도로교통망 취약성 평가 방법론, IV장의 사례 분석, V장의 결론으로 구성된다.

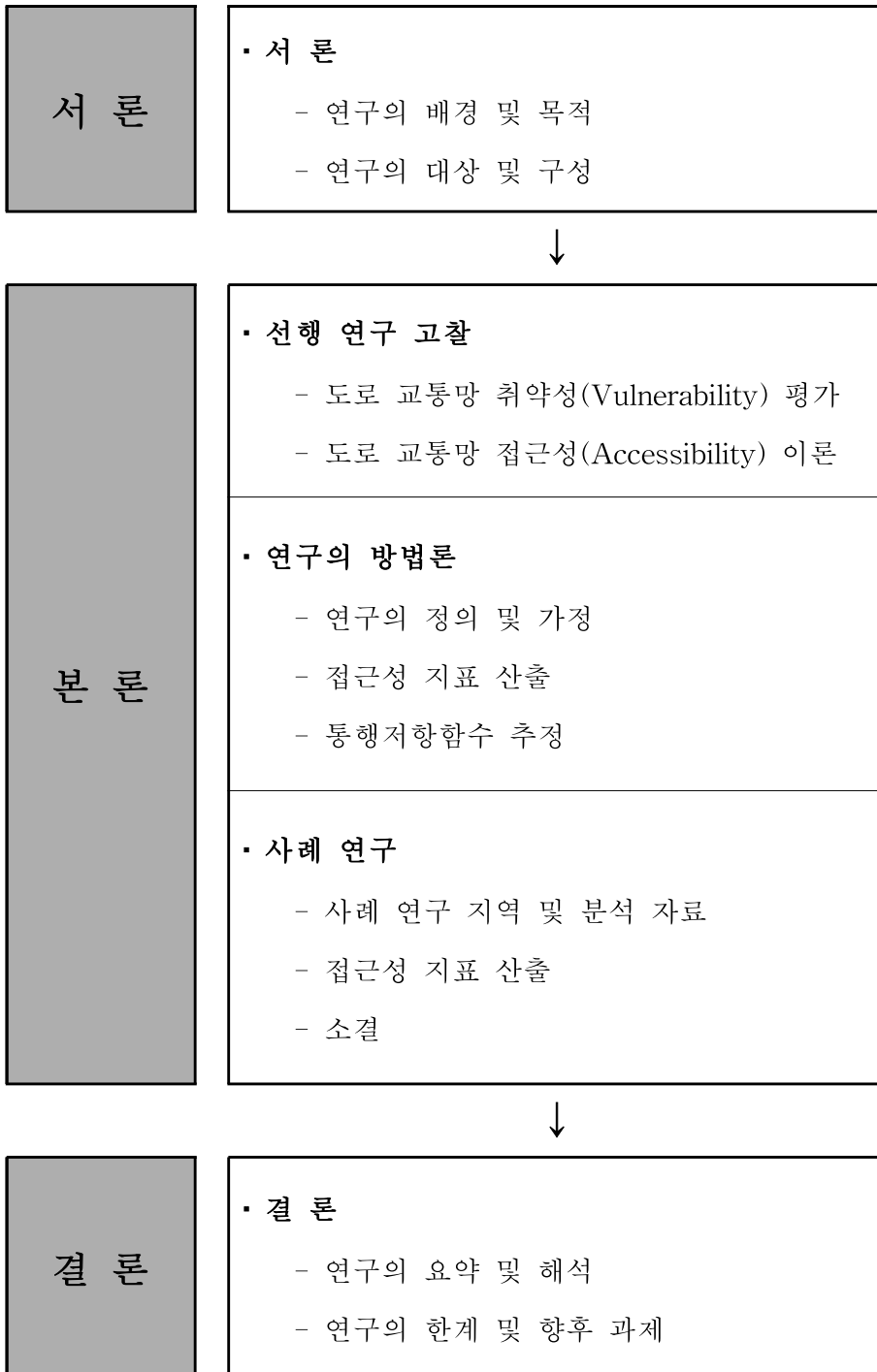
먼저, II장의 선행연구 고찰을 통해 국내외의 취약성과 접근성에 대한 전반적인 내용을 검토하고 시사점을 도출 한다. 이를 통하여 본 연구에 적합한 취약성 정의를 도출 한다.

둘째, III장의 도로교통망 취약성 평가 방법론에서는 취약성을 평가하기 위한 지표를 접근성의 개념을 이용하여 제안한다. 그리고 제안한 지표들에 관련된 이론적 고찰을 수행한다.

셋째, IV장의 사례 분석은 제안한 지표를 이용하여 실제 네트워크에서 도로교통망의 기능이 저하되었을 때, 지표의 변화를 통하여 그 영향을 분석하고 취약 링크를 선정 한다.

마지막으로 V장의 결론에서는 연구의 요약 및 종합적 해석을 하고 연구의 한계 및 향후 과제를 설정한다.

연구의 수행 과정은 <그림 I -1>과 같다.



<그림 I-1> 연구 흐름도

II. 선행연구 고찰

1. 도로 교통망 취약성 평가

1) 정의 및 평가지표

I 장에서 언급한바와 같이 국내의 연구에서는 도로교통망에 초점을 둔 취약성 연구가 미진하다. 하지만 재난·재해에 대한 연구에서 취약성에 대한 정의를 찾아 볼 수 있다. 또한 취약성이란 용어는 재난위험관리, 기후변화, 교통 등 많은 학문 분야에서 사용되고 분야에 따라 정의도 다양하다. 하각천(2012)은 ‘재난에 대한 취약성을 재난발생시 피해를 쉽게 입을 수 있는 대상의 취약한 상태’라고 하였다. 송영석(2012)에서는 ‘취약성은 자연적 또는 인위적 요인 등이 물리적 현상에 대한 취약한 정도’로 설명하고 있다. 즉, ‘어떠한 사건 때문에 대상이 쉽게 피해를 받는 것’으로 요약 할 수 있다.

국외 연구는 교통에 초점을 두어 취약성에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. Berdica(2002)의 연구에서 취약성(Vulnerability)은 ‘도로 네트워크 편리성(Serviceability-주어진 시간동안 도로망을 이용 할 수 있는 가능성)에 상당한 감소를 가져오는 사건(Incident-네트워크 편리성을 직/간접적으로 줄이거나 방해하는 일)에 대한 민감도’로 정의 하고 있다. 이 연구를 통하여 도로 교통망 취약성에 관해 많은 관심을 가지게 되었고 체계적으로 연구가 시작되는 계기를 제공했다.

Jenelius et al.(2006)의 연구는 취약성을 ‘편리성, 신뢰성, 접근성을 줄이는 것’으로 정의하고 중요도(Importance)와 노출도(Exposure)의 개념을 소개하고 있다. 노출도는 취약성을 대신할 수 있는 용어로 정의는 Taylor et al.(2004)의 연구에서 차용하여 ‘적은 수의 링크의 손실이 노드로의 접근성을 현저히 줄인다면 그 네트워크는 취약하다’고 정의한다. 중요도는 ‘사고의 확률이 높고 그 사고에 대한 영향이 크다면 그 부분은 중요하다’고 정의한다. 중요도와 노출도 평가는 일반화 비용의 변화를 지

표로 사용한다.

Taylor et al.(2006)은 도로 네트워크 취약성 평가 방법을 설명하기 위한 연구로 접근성 수준의 변화에 따른 사회경제적 영향을 분석한다. 취약성에 대한 정의는 Jenelius(2006)와 마찬가지로 Taylor et al.(2004)의 정의를 차용하여 정의하고 일반화 비용, Hansen 접근성 지표, ARIA(Accessibility/Remoteness Index of Australia)를 평가 지표로 이용한다.

Jenelius(2009)의 연구는 Jenelius(2006)의 연구를 확장한 것으로 링크기반이 아닌 지역적 취약성을 연구 하였다. 또 이를 위해 상호 보완적인 개념인 공급(링크 중복도, 네트워크 규모, 도로 밀도, 인구밀도)과 수요(통행시간, 교통량)를 활용하여 취약성을 분석하고 있다.

Jenelius(2010)에서는 링크 중요도의 개념을 이용하여 취약성을 설명한다. 링크 중요도(Importance)는 ‘링크 폐쇄의 결과로 네트워크 이용자에게 미치는 결과’로 정의 하고 폐쇄로 인해 생기는 전반적인 결과뿐 아니라 네트워크 이용자들의 차이를 통행시간을 이용하여 분석하였다.

Snelder et al.(2012)는 취약성의 정의를 강건함(Robustness)의 반대 개념으로 이야기 한다. 강건함은 ‘특정 상황에서, 네트워크가 본 기능을 유지할 수 있는 정도’로 정의 후 동적통행 모형과 사고로 인한 통행 손실 시간을 지표로 분석 하였다.

YANG and QIAN.(2012)는 도로에 사고 발생 시 회복되는 시간에 따라 네트워크 취약성을 평가하였다. 여기서 취약성은 ‘도로 네트워크에 사고가 발생하여 손실(Loss) 또는 영향(Effect)이 다른 곳으로 퍼져나가는 것’으로 정의한다. 분석을 위한 지표는 전체 네트워크의 이용자 손실 시간에 ‘회복 능력(Recovery ability)’을 반영하여 취약성을 분석하였다.

이외에도 도로뿐 아니라 철도, 공항 네트워크의 취약성에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있다. 다음 <표 II-1>과 <표 II-2>는 선행 연구의 취약성에 대한 정의 및 평가 지표를 정리한 것이다.

<표 II-1> 선행연구의 취약성에 대한 정의

No.	저 자 (연도)	취약성 정의
1	하각천 (2012)	• 재난발생시 피해를 쉽게 입을 수 있는 대상의 취약한 상태
2	송영석 (2012)	• 자연적 또는 인위적 요인 등이 물리적 현상에 대한 취약한 정도
3	Berdica (2002)	• 도로 네트워크 편리성(Serviceability)에 상당한 감소를 가져오는 사건
4	Jenelius et al. (2006)	• 편리성, 신뢰성, 접근성을 줄이는 것
5	Taylor et al. (2006)	• 링크의 손실이 노드로의 접근성을 현저히 저하 시킬 때
6	Jenelius (2009)	• Jenelius et al.(2006)의 정의와 동일
7	Jenelius (2010)	• 중요도(Importance)의 개념으로 설명 • 링크 폐쇄의 결과로 네트워크 이용자에게 미치는 결과
8	Snelder et al. (2012)	• 강건함(Robustness)의 개념으로 설명 • 특정 상황에서, 네트워크가 본 기능을 유지할 수 있는 정도
9	YANG and QIAN (2012)	• 도로 네트워크의 사고 발생으로 손실(Loss) 또는 영향(Effect)이 다른 곳으로 퍼져나가는 것

<표 II-2> 선행연구의 취약성 평가를 위한 지표

No.	저 자 (연도)	평가요소		평가요소 지표
1	Berdica (2002)	-		-
2	Jenelius et al. (2006)	중요도 (Importance)		▪ 통행비용
		노출도 (Exposure)		
3	Taylor et al. (2006)	접근성 (Accessibility)		▪ Hansen 지표 ▪ ARIA
4	Jenelius (2009)	공급 (네트 워크)	링크중복도 (Redundancy)	▪ Beta Index
			네트워크 규모	▪ 평균 링크 길이
			도로 밀도	▪ 총 연장/총 면적
			인구 밀도	-
		수요 (통행 패턴)	노출도 (Exposure)	▪ 통행 시간
			중요도 (Importance)	▪ 교통량
5	Jenelius (2010)	-		▪ 통행 시간
6	Snelder et al. (2012)	견고성 (Robustness)		▪ 통행 손실 시간
7	YANG and QIAN (2012)	-		▪ 통행 손실 시간

2) 소결

많은 나라에서 취약성에 대해 연구가 활발히 진행 되고 있다. 국내에서도 재난·재해의 연구에서 취약성을 다루고는 있지만 해외처럼 도로 교통망에 초점을 둔 연구는 미진한 상태이다. 선행연구에서 취약성의 정의는 연구자에 따라 다소 차이가 있지만 큰 개념은 같았다. 하지만 연구의 방법에 대해서는 연구자에 따라 전혀 다른 방법을 제시 하고 있다.

취약성은 추상적인 개념이다. 따라서 이를 효과적으로 설명하기 위해서 ‘취약성’이란 단어의 사전적 의미를 확장하여 묘사하는 연구가 있는 반면 다른 지표를 사용하여 취약성을 정의 하는 연구들도 상당히 많았다.

취약성을 설명하는 구체적인 지표로는 접근성, 신뢰성, 견고성, 중복도 등이 활용되고 있었다.

본 연구에서도 취약성을 대신 설명 할 수 있는 구체적인 지표를 활용하여 정의를 한다. 그 구체적인 지표는 접근성이다.

하지만 본 연구에서 이야기 하는 접근성이 취약성을 대표하는 용어라는 뜻은 아니다. 선행연구 및 본 연구에서 설정한 구체적인 지표는 취약성을 대신하여 설명할 수 있는 지표인 것이지만 어떤 지표가 취약성을 가장 잘 설명하는지는 현재로써 판단 할 수 없다. 왜냐하면 아직 취약성이란 용어의 경우 세계적으로 통용되는 정의가 없고 연구자의 정의에 따라 다르기 때문이다.

하지만 접근성은 교통체계의 통행기회와 저항을 모두 고려 할 수 있는 범용성을 내포하고 있고 취약성 연구 뿐 아니라 교통 분야, 도시 분야 등 다양한 분야에서 널리 사용되고 있는 개념이다. 따라서 본 연구에서는 접근성 개념을 이용하여 방법론을 정립하고 사례분석을 실시한다.

2. 도로교통망 접근성 이론

1) 접근성 정의 및 평가지표

접근성의 사전적 의미는 ‘통행발생 지역으로부터 특정 지역이나 시설로 접근할 수 있는 가능성’이다. 접근성 역시 취약성과 마찬가지로 다양한 분야에서 다양하게 정의 하고 있다.

김찬성 외(2005)의 연구에서는 Hansen(1959)의 정의를 차용하고 수도권 대중교통 개편 전·후의 전철과 지하철의 역간 기종점 자료를 이용하여 승객의 접근성 지표 변화를 추정 후 그 지표를 비교하고 있다. 나아가 접근성 지표 변화가 교통과 토지이용관계에 상당한 변화를 주었을 가능성이 있으므로 개편 전·후가 공간 상호작용 모형에 어떤 역할을 하는지를 목적으로 하고 있다. 김성준(2009)의 연구에서 고속도로를 대상으로 최단통행거리를 기초로 지역별 통행분포를 고려하여 가중치를 두어 접근성 지표를 산출 하였다. 이를 위해 접근성을 ‘어느 지역에서 교통 시설물을 이용하기 위해 도달하기 용이한 정도’로 정의 하였다.

해외에서는 국내보다 더 일찍 접근성에 관한 연구가 시작되었고 아직도 활발히 진행 중이다. 대표적으로 Hansen(1959)은 공간상호작용 기회의 잠재성으로 접근성을 정의 하였다. Hansen의 연구를 통해 접근성의 이론은 일반화되기 시작했다. Geurs and Wee(2004)의 연구에서는 토지이용 및 교통 연구의 접근성 평가에 대해 지역기반 및 수단 기반 측정 방법에 대해 이야기 하고 나아가 시공간적 요소와 접근성, 토지이용 그리고 통행 패턴사이의 피드백 구조를 고려해야 한다고 말한다. 또한 일반적으로 알려진 4가지의 접근성 정의를 소개 했다. 그 4가지는 다음과 같다.

- 상호작용을 위한 기회의 잠재적 가능성 (Hansen, 1959)
- 특정 교통수단을 이용하여 한 지역에서 다른 지역으로 쉽게 도달하는 것 (Dalvi and Martin, 1976)
- 다양한 활동에 참여 여부를 결정하는 개인의 자유 (Burns, 1979)
- 교통/토지이용 시스템으로부터 이득을 제공 받는 것 (Ben-Akiva and Lerman, 1979)

그리고 이를 통하여 접근성은 ‘교통수단을 이용하여 목적지에 개인이 도달 할 수 있는 정도’로 정의 하고 4가지 요소(토지이용, 교통시스템, 시간적, 개별 특성)를 분석에 반영해야 한다고 말한다. 호주의 DHAC(Department of Health and Aged Care)에서 2001년 발행한 보고서 ARIA(Accessibility/Remoteness Index of Australia)는 떨어짐 정도(Remoteness)에 초점을 두어 접근성을 분석 하고 있다. 떨어짐 정도는 ‘대도시권으로 접근하기 어려운 정도’이다. 그리고 기존의 RRMA(Rural, Remote and Metropolitan Areas)을 보완하며 대도시권의 서비스 지역으로부터의 떨어진 정도(거리)를 이용하여 종합적이고 되도록 간단하도록 지표를 개발 했다. <표 II-3>은 선행 연구의 접근성 정의를 정리 한 것이다. 또 접근성 지표는 다양한 분류 체계를 가질 수 있다. Chandra et al.(2000)의 연구에서는 접근성을 5개의 범주로 나누었는데 그 5개의 범주는 다음과 같다.

- 공간적 떨어짐 (spatial separation)
- 누적 기회 (cumulative opportunity)
- 중력 모형 (gravity)
- 로그섬/효용 (logsum/utility)
- 시공간 모형 (time and space models)

<표 II-3> 선행 연구의 접근성 정의 및 평가 지표

No.	저 자 (연도)	접근성 정의
1	김성준 (2009)	· 어느 지역에서 교통 시설물을 이용하기 위해 도달하기 용이한 정도
2	Geurs and Wee (2004)	· 교통수단을 이용하여 목적지에 개인이 도달 할 수 있는 정도
3	DHAC (2001)	· 대도시권으로 접근하기 어려운 정도
4	김황배 (2006)	· 이용자들이 도시시설을 이용하는데 얼마나 쉽게 많은 이용기회를 제공 받을 수 있는 정도
5	Hansen (1959)	· 공간상호작용 기회의 잠재성
6	조혜진 (2007)	· 사람들이 필요로 하거나 원하는 서비스와 시설로 접근할 수 있는 용이함
7	김찬성 외 (2005)	· Hansen 정의 차용
8	한근수 (2007)	· 출발지에서 목적지까지 도달 할 수 있는 능력
9	이금숙 (2014)	· 서비스 또는 환경 등에 사람들이 접근 할 수 있는 용의함

2) 소결

접근성 정의는 취약성 정의와 마찬가지로 상이하게 나타났으나 그 정의 내용은 목적지까지 얼마나 쉽게 갈 수 있는지를 내포하고 있다.

또한 접근성의 분류는 Chandra(2000)의 연구에서 제시한 범주를 많이 이용하고 있었지만 본 연구에서는 범주를 3개로 새롭게 분류한다. 그 분류는 통행기회(Opportunity)측면, 통행저항(Impedance), 그리고 통행기회와 통행저항 측면으로 나눈다.

과거에는 통행기회측면 또는 통행저항측면 한 가지를 이용하여 접근성 지표를 추정하였다. 하지만 통행저항측면은 거리를 계산하기 때문에 유인력 또는 기회를 계산하지 못하고 통행기회측면은 유인력 또는 기회는 설명할 수 있는 반면 거리에 따른 유인력 또는 기회가 측정할 수 없는 단점을 가지고 있다.

하지만 통행기회와 저항을 모두 고려하게 된다면 두 측면 각각의 장점을 가지면서 단점을 보완 할 수 있다. 다음 <표 II-4>는 본 연구에서 제시하는 분류체계를 이용하여 선행연구의 접근성 분석 모형을 정리한 표이다. 여기서 A_i 는 접근성 모형, O_{ij} 는 i 존과 j 존 사이의 통행 기회 그리고 t_i 는 통행 저항을 나타낸다.

<표 II-4> 접근성 분석 모형의 분류

구분	번호	분석 모형	저자 (연도)	비고
저항 측면	1	$A_i = \sum_{j=1}^n t_{ij}$	원 광희 (2003)	-
	2	$A_i = \frac{\sum_{j=1}^n t_{ij}}{n}$	이 춘희 외 (2006)	-
	3	$A_i = t_{ij}$	김 성준 (2009)	· i 지역에서 최단 IC까지의 거리
	4	$A_i = (1 + 18 \times G) \times ti$	하 은지 외 (2012)	· G : 십진법표기의 경사율 (%)
	5	$A_i = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1, j \neq i}^N t_{ij}$	Allen et al (1993)	· N : 총 지역 수
	6	$A_i = \sum \frac{1}{t_{ij}}$	Caschili et al (2013)	-
기회 측면	1	$A_i = \sum_{j=1}^n O_j \delta_{ij}$	Gutierrez (2009)	· Daily Accessibility · δ_{ij} : less than 3hr=1 or 0
저항 + 기회	1	$A_i = \frac{\sum_{j=1}^n (O_{ij} \times t_{ij})}{\sum_{j=1}^n O_{ij}}$	원 광희 (2003), 김 성준 (2009), 정 상운 (2011), Gutierrez (2009)	-
	2	$A_i = \left[\frac{\sum_{j \neq i} (O_{ij} \times t_{ij})}{\sum_j O_{ij}} \right]^{-1}$	이 춘희 외 (2006)	-
	3	$A_i = \sum_j O_j \exp(\beta t_{ij})$ (식 1) $O_{ij} = \beta t_{ij}$ (식 2)	김 찬성 외 (2005)	-

<표 계속>

구분	번호	분석 모형	저자 (연도)	비고	
저항 + 기회	4	$A_i = \sum_{i=1}^n O \times t_{i_i}$	김 황배 외 (2006)	-	
	5	$A_i = [(1 - \frac{O_i}{\sum_j O_j}) \sum_{j \neq i} (\frac{O_j}{\sum_{k \neq i} O_k}) gc_{ij}]^{-1}$ (식1) $gc_{ij} = \sum_m W_{ijm} \times t_{ijm}$ (식2)	조 혜진 외 (2007)	<ul style="list-style-type: none"> · 일반화비용(gc)는 (식 2)를 통해 추정 · W_{ijm}: i지역에서 j지역으로 m수단의 분담률 	
	6	$A_i = \frac{\sum_j O_{ij}}{f(t_{ij})}$	Reggiani (2010, 2011), 한 근수 (2012)	· $f(t_{ij})$: Exponential, Power, Gamma	
	7	$A_i = \frac{\sum_{j \neq i}^n O_j}{\sum_{j \neq i}^n t_{ij}^\beta}$	Hansen (1959)	-	
	8	$A_i = \frac{\sum_{j=1}^n O_j t_{ij}}{t_{ij}^x}$	Gutierrez (2010)	· $t_{ij}^x = t_i + tr_{ij} + t_j$	
	9	$A_i = \sum_j \frac{O_j}{f(d_{ij})} + \frac{O_i}{f(d_{ii})}$	Caschili et al (2013)	· exponential $f_e(d_{ij}) = e^{\beta d_{ij}}$	· power $f_p(d_{ij}) = d_{ij}^\beta$

Ⅲ. 연구의 방법론

1. 용어 정의 및 연구 가정

본 연구의 방법론을 수립하기에 앞서 연구에서 필요한 몇 가지 용어 정의와 가정이 있다. 다음은 선행 연구를 바탕으로 본 연구의 용어 정의이다.

<정의. 1> 도로교통망 취약성 (Vulnerability)

- 특정 링크(Link)에서 발생한 사건(Incidents)으로 인해 전체 교통망의 접근성(Accessibility)이 저하되는 정도.

<정의. 2> 사건 (Incidents)

- 도로망의 기능을 직/간접적으로 축소 또는 저해하는 요소

<정의. 3> 접근성 (Accessibility)

- 특정 장소(또는 노드)에서 다른 장소(또는 노드)까지 쉽게 도달할 수 있는 정도

사건은 교통사고, 폭설, 폭우 등 예상치 못한 사건과 도로의 유지보수공사, 시위 등 예상 가능한 사건을 모두 포함 하는 개념이다. 이 사건이 도로교통망 링크에서 발생함으로 인해 도로 이용자가 원하는 곳까지 쉽게 도달을 하지 못하게 된다면 그 도로교통망은 취약하다고 본 연구에서는 말한다. 다음으로 연구에 필요한 가정을 설명한다.

<가정. 1> 사건은 한 번에 하나의 링크에서만 발생하고 해당링크만 영향을 받아 폐쇄 된다.

실제 도로교통망에서는 동시다발적으로 다수의 링크에서 사건이 발생을 할 수도 있다. 또 사건이 발생이 된다면, 해당 링크뿐만 아니라 주변링크에도 영향을 줄 수 있다. 그 결과 해당 링크와 주변 링크의 기능이 저하가 되거나 심하면 연쇄적으로 폐쇄가 될 확률이 높다.

하지만 사건이 어느 지역에서 발생을 하는지와 그 영향이 어디까지 미치는지를 파악하여 수치화 하기는 현실적으로 불가능 하다.

따라서 사건은 한 번에 하나의 링크 즉 한 곳에서만 발생을 하고 해당링크만 영향을 받아 폐쇄 된다고 가정한다.

<가정. 2> 도로이용자는 사건에 의해 링크가 폐쇄 또는 기능이 저하 되어도 목적지 및 수단을 변경하거나 통행을 포기 하지 않는다.

사건의 발생으로 인해 링크가 폐쇄 또는 기능이 저하가 된다면 실제로는 이용자에 따라 목적지 또는 통행수단을 변경 할 수도 있고 때에 따라서는 통행 자체를 포기 할 수도 있다. 하지만 본 연구는 링크 폐쇄 또는 기능 저하에 따른 도로이용자의 통행행태를 살펴보는 것이 아닌 도로교통망의 취약한 링크를 분석하기 위함에 있다. 그러므로 모든 이용자는 사건이 발생해도 사건 발생 전에 이용하고자 했던 수단을 이용하여 우회 경로를 통해 본래의 목적지로 통행을 한다.

<가정. 2>로 인해 총 통행 수요는 변하지 않는다. 즉 이용자의 통행의 횟수, O/D의 통행량, 통행 시간대, 통행 수단 등은 변하지 않는다.

링크가 폐쇄되었을 때 오로지 변하는 것은 이용자가 목적지에 도달하기 위해 이용하는 경로이다. 다시말해, 링크가 폐쇄가 되면 이용자는 목적지까지 도달하기 위한 경로 중 차선택을 선택하여 목적지까지 도달하게 된다.

도로교통망 취약성 평가를 위해서 우선적으로 간단한 지표를 통해

사회전반적인 영향을 파악한다. 이 후 앞서 언급한 바와 같이 접근성 개념을 이용하여 도로망의 취약성을 평가한다. 접근성 분석을 위해서 본 연구에서는 중력모형 기반의 모형을 이용하여 지표 산출 방법론을 제시한다.

사례분석에서는 실제 서울시 도시고속도로 네트워크 자료를 이용하여 링크를 하나하나 폐쇄하여 본 연구에서 제안하고 있는 지표 및 취약성 결정 요인을 분석한다. 이 때 폐쇄될 링크는 확률 또는 어떠한 방법에 의해 선택되는 것이 아니라 도시부고속도로 중 하나의 도로를 시점부터 종점까지 링크를 하나씩 폐쇄해가며 통행배정과정을 실시하는 것이다. 예를 들어 도시부고속도로 중 하나인 강변북로의 시점인 구리시계-천호대교 구간의 양방향 링크를 폐쇄하여 통행배정을 했다면 그 다음은 천호대교-올림픽대교 구간의 링크를 폐쇄 시켜 통행배정을 실시한다. 그리고 이때 선택되는 링크는 상류지점의 램프와 하류지점의 램프 사이에 있는 양방향 도로를 의미 한다. 그리고 고려되는 수단은 도로망을 이용할 수 있는 수단만을 고려한다. 즉 승용차, 버스, 택시 그리고 트럭 이용자들만 고려하고 철도 이용자는 고려를 하지 않는다.

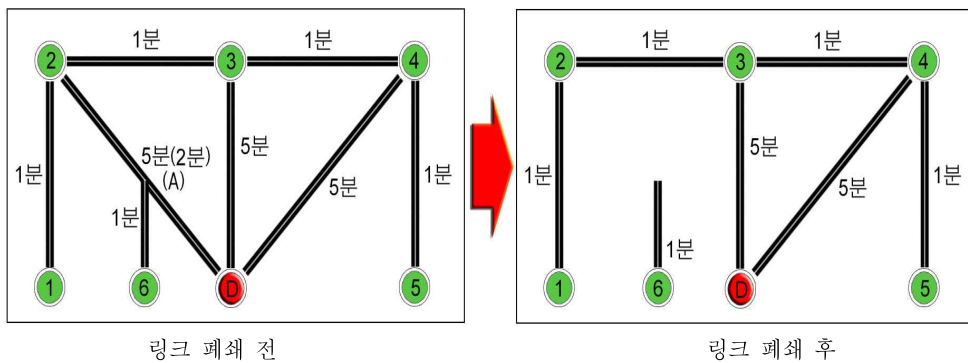
2. 접근성 지표 산출

1) 접근성(Accessibility)

접근성에 대한 정의는 II장에서 언급한 것과 같이 연구자에 따라 상이하게 정의하고 있다. 또 본 연구의 접근성을 위해서 정의를 하였다. 쉽게 말해 접근성은 도로 이용자가 한 지점에 서 다른 지점까지 얼마나 쉽게 도달할 수 있는지를 말한다. 그리고 그 평가지표로는 일반적으로 통행저항과 통행기회를 고려한 지표를 이용하고 있다.

하지만 접근성의 평가는 절대적인 값이 제시되지 않는다. 즉 접근성이 좋고 나쁨을 말하는 것은 절대적인 평가 기준보다는 지점 또는 지역간의 상대적 기준으로 평가하고 있다.

본 연구에서는 <가정. 2>로 인해 출발지와 목적지간의 통행기회는 고정되어 있고 통행저항만이 변화가 된다. 즉 본 연구의 접근성 개념은 <그림 III-1>과 같이 통행저항만을 이용하여 도식화 할 수 있다.



<그림 III-1> 접근성 개념도

예를 들어, 링크 폐쇄 전에는 지역 1, 2, 3, 4, 5, 6에서 지역 D까지 최소 통행 시간은 각각 6분, 5분, 5분, 5분, 6분, 3분이다. 이 때 D까지 접근성은 지역 6이 가장 좋고 가장 나쁜 곳은 지역 1과 지역 5이다.

만약 링크A가 단절이 되었다면 각 지역에서 지역 D까지의 최소 통행시간은 6분, 7분, 5분, 5분, 6분이고 지역 6은 지역 D 뿐만 아니라 다른 지역으로 접근을 할 수 없게 된다. 즉 지역 D는 다른 지역으로의 접근성이 떨어지고 링크 A는 다른 링크에 비해 취약하다고 말할 수 있다.

하지만 서울시 같은 대도시는 예상치 못한 사건의 발생으로 하나의 링크가 단절이 되어도 그 링크 주변 지역이 고립되는 현상은 매우 드물 것이다. 또한 <가정. 2>로 인해 도로 이용자는 자신의 통행을 포기 하지 않는다.

따라서 본 연구에서는 링크가 단절된 결과로 산출되는 통행시간 또는 통행거리를 이용하여 접근성 지표를 계산한다. 이 후 접근성 지표의 값이 단절되기 전보다 감소하게 된다면 해당링크의 단절로 인해 서울시의 내부 존간 통행의 접근성이 떨어지고 그 링크는 다른 링크에 비해 취약하다고 정의한다.

2) 접근성 지표

Ⅱ장에서 언급한바와 같이 접근성 지표 분석 모형은 구성하는 요소에 따라 통행기회(Opportunity)측면 모형, 통행저항(Impedance)측면 모형, 통행기회 및 통행저항측면 모형 등 총 3가지로 분류 할 수 있다. 통행기회(Opportunity)측면은 타 지역에서 발생하는 통행을 분석대상 지역으로 끌어들이 수 있는 요소를 말한다. 이 요소로는 인구, 종사자수, 건물면적, 백화점 수(면적), 문화시설 수(면적), 통행량 등이 사용되고 있다. 통행저항(Impedance)측면은 이용자가 통행기회를 이용하기 위한 편리함을 이야기 한다. 통행저항의 요소로는 통행시간, 통행거리 등을 사용하고 있다.

통행기회 및 통행저항기반 모형의 계산은 간단하다. 하지만 각각을 하나의 모형으로 이용하기에는 큰 문제가 있다. 통행기회측면 모형은 기

회까지의 저항(거리, 시간 등)에 상관없이 기회의 크기만 크다면 접근성이 좋다는 결론이 도출된다. 역으로 통행저항측면 모형은 기회의 크기에 상관없이 저항의 크기가 크다면 접근성이 낮아지게 된다.

따라서 본 연구에서는 위의 두 가지 속성을 모두 고려할 수 있는 통행기회 와 저항측면 모형 중 하나인 중력모형기반(Gravity-based) 접근성 모형을 이용한다. 이모형은 기회와 시간 또는 거리를 같이 고려할 수 있다. 즉 중력기반 모형의 접근성 지표는 통행기회의 크기에 비례하고 통행저항의 크기에 반비례 한다.

통행기회를 나타내는 요소는 보통 i 지역의 기회만을 고려하고 있고 그 기회는 잠재적 유인력(Attraction)라고 말 할 수 있다. i 지역 기회의 크기에 따라 j 지역의 유출 통행량을 i 지역으로 유인을 할 수도 못할 수도 있다. 다시 말해 현재 접근성 지표 산출을 위해 고려하고 있는 요소는 i 지역으로 통행을 유인하는 잠재적 기회의 크기라고 할 수 있다. 이 잠재적 기회 크기는 통행자의 통행목적에 따라 차이가 발생한다. 출근 또는 등교가 통행목적인 사람에게는 i 지역의 잠재적 기회 크기에 상관없이 i 지역으로 통행을 한다. 하지만 쇼핑, 오락, 학원 등 여가 통행목적인 사람은 그 지역의 잠재적 기회 크기에 따라 목적지가 바뀌게 된다.

하지만 본 연구에서는 <가정. 2>에 따라 이용자들의 목적지는 변하지 않기 때문에 i 지역과 j 지역 간 통행량을 통행기회를 나타내는 변수로 이용한다.

접근성 지표 모형을 제시하기에 앞서 통행저항의 대표 요소인 통행 시간 및 거리와 통행량을 이용하여 링크가 폐쇄되었을 때 사회전반적인 영향을 살펴본다. 그 식은 다음 <식 III-1>과 <식 III-2>와 같이 나타낸다. <식 III-1>은 i 지역과 j 지역 간의 총 통행시간이다. 이는 링크 A가 폐쇄된 결과로 i 지역과 j 지역의 통행시간의 증감을 파악하기 위해 활용한다. 마찬가지로 i 지역과 j 지역 간의 총 통행거리를 파악하기 위해 <식 III-2>를 이용한다.

$$tq_i = \sum_{\substack{i \neq j \\ j=1}}^n t_{ij} \times q_{ij} \quad \text{<식 III-1>}$$

여기서, i : 출발 지역

j :도착 지역

n : 총 지역의 수

tq_i : i 지역과 j 지역 간 총 통행 시간

t_{ij} : i 지역과 j 지역 간 통행시간

q_{ij} : i 지역과 j 지역 간 통행량

$$lq_i = \sum_{\substack{i \neq j \\ j=1}}^n l_{ij} \times q_{ij} \quad \text{<식 III-2>}$$

여기서, lq_i : i 지역과 j 지역 간 총 통행 거리

하지만 서울시의 경우 하나의 지역(zone)으로 이루어져 있는 것이 아닌 다수의 지역(zone)으로 구성되어 있어서 각각의 지역에 대한 총 통행시간과 총 통행거리를 표현하는 것은 무리가 있다. 그러므로 i 지역과 j 지역 간 총 통행시간 또는 총 통행거리가 아닌 서울시 전체의 총 통행시간과 총 통행거리를 <식 III-3>, <식 III-4>과 같이 표현한다.

$$tq_t = \sum_{i=1}^n tq_i \quad \text{<식 III-3>}$$

여기서, tq_i : 서울시 총 통행시간

$$lq_t = \sum_{i=1}^n lq_i \quad \text{<식 III-4>}$$

여기서, lq_i : 서울시 총 통행거리

위의 <식 III-1>과 <식 III-2>는 링크 폐쇄 전의 통행시간 또는 통행거리와 링크 폐쇄 후의 값을 비교한다. 예를 들어 링크가 A, B로 총 2개가 있고 폐쇄 전의 통행시간이 10, A링크 폐쇄 후 통행시간 15, B링크 폐쇄 후 통행시간 20이라면 B링크가 A링크 통행시간이 5만큼 더 증가하였기 때문에 본 연구에서는 B링크가 A링크보다 사회적으로 더 큰 영향을 미치는 링크로 정의 한다.

마지막으로는 본 연구에서 최종적으로 제시하고자 하는 중력모형기반(Gravity-based) 접근성 지표 모형이다.

$$A_i = \sum_{\substack{i \neq j \\ j=1}}^n q_{ij} \times [f(t_{ij})]^{-1} \quad \text{<식 III-5>}$$

여기서, A_i : i 지역의 접근성

$f(t_{ij})$: i 지역과 j 지역 사이의 통행저항 함수

<식 III-5>은 i 지역의 접근성 지표이다. 하지만 위에서 언급한 바와 같이 서울시는 다수의 지역으로 이루어져 있기 때문에 서울시 전체의 접근성 지표를 산출 한다. 따라서 본 연구의 최종 접근성 지표 모형은 <식 III-6>과 같다.

$$A_t = \sum_{i=1}^n A_i \quad \text{<식 III-6>}$$

여기서, A_t : 서울시 전체 접근성

<식 III-6>도 통행시간 또는 통행거리의 결과와 마찬가지로 폐쇄 전의 지표와 각 링크를 폐쇄하고 난 이후의 지표를 비교하여 그 값의 차이가 클수록 접근성이 떨어지는 것을 의미하며 가장 차이가 큰 링크는 가장 취약한 링크로 정의 한다.

3. 통행저항함수 추정

일반적으로 수요예측 4단계 중 통행분포 단계에서 중력모형을 이용할 때 중간 통행수요량을 예상 또는 예측하기 위해 모형 정산 과정을 거친다. 그리고 이 때 통행형태를 가장 잘 설명할 수 있는 통행저항함수를 추정하여 모형을 정산 하는 과정을 거친다.

통행저항함수는 통행시간에 따른 통행빈도의 형태에 따라 Exponential, Power, Gamma 함수로 표현 할 수 있다. 일반적으로 추정하는 3개의 함수는 비선형 함수이기 때문에 모형 정산을 할 때 파라미터 정산이 쉽지 않다. 이를 해결하기 위해 일반적으로 대수변환을 하여 선형회귀분석으로 추정한다.

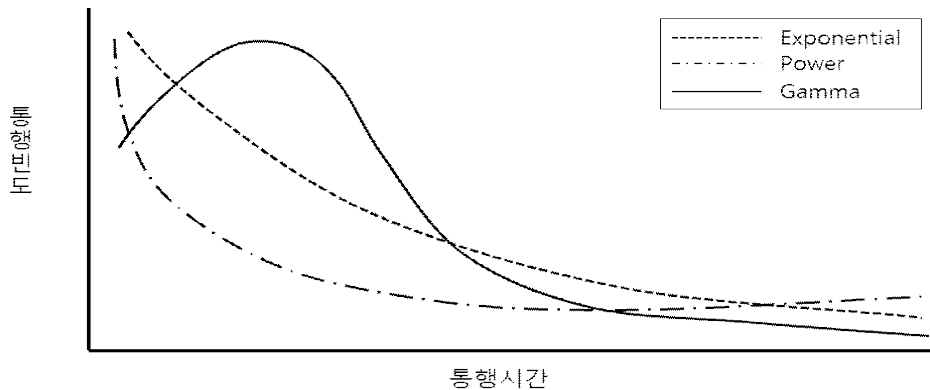
<표 III-1> 통행저항 함수 형태

함수		함수형태	
Exponential	비선형	$\cdot f(t_{ij}) = \alpha \exp(\beta t_{ij})$	<식 III-7>
	선형	$\cdot \ln(f(t_{ij})) = \ln\alpha + \ln(\beta t_{ij})$	<식 III-8>
Power	비선형	$\cdot f(t_{ij}) = \alpha (t_{ij}^\beta)$	<식 III-9>
	선형	$\cdot \ln(f(t_{ij})) = \ln\alpha + \beta \ln(t_{ij})$	<식 III-10>
Gamma	비선형	$\cdot f(t_{ij}) = \alpha (t_{ij}^\beta) \exp(\gamma t_{ij})$	<식 III-11>
	선형	$\cdot \ln(f(t_{ij})) = \ln\alpha + \beta \ln(t_{ij}) + \gamma t_{ij}$	<식 III-12>

일반적으로 Exponential과 Power 함수는 통행시간과 통행저항을 반비례 관계로 보기 때문에 통행시간이 짧은 구간에서는 통행빈도가 기하급수적으로 증가하기 때문에 설명력이 떨어지는 것으로 알려져 있다. 통행시간이 짧은 구간에서의 설명력을 높이기 위해 Gamma 함수의 형태를 많이 사용하고 있다.

하지만 3개의 함수 중 통행빈도를 잘 설명해주는지는 통행빈도 분포

에 따라 달라지기 때문에 함수의 형태는 통행빈도 분포를 검토 한 후 결정하는 것이 바람직하다.



<그림 III-2> 통행저항함수 형태

본 연구에서는 통행분포의 정산 과정을 위해 통행저항함수를 추정하는 것이 아니다. 본 연구의 접근성 지표인 <식 III-5>에서 q_{ij} 와 t_{ij} 의 단위의 문제 때문에 사칙연산을 할 수가 없다. 이 때 이를 해결해 주기 위한 매개변수 또는 함수식이 필요하다. 이를 해결하기 위해 통행저항함수 형태의 함수식을 이용하여 단위 문제를 해결하고자 한다. 따라서 함수를 추정 할 때는 일반적으로 하는 대수전환을 하지 않고 <식 III-7>, <식 III-9>, <식 III-11>을 이용하여 비선형회귀분석으로 추정을 한다.

또한 본 장에서 추정하는 통행저항함수는 통행배정 단계에서 VDF(Volume Delay Function)의 하나로 사용되는 BPR 함수와도 다르다. 링크가 폐쇄 되었을 때 통행 배정은 BPR 함수로 분석이 되고 통행저항함수는 지표의 값을 계산하기 위한 함수일 뿐이다.

즉 본 연구에서의 추정되는 통행저항함수는 지표를 계산 할 때 q_{ij} 와 t_{ij} 의 단위 변환을 위한 매개체일 뿐 기존의 교통수요 4단계에서의 통행저항함수의 역할과는 다르다.

IV. 사례 연구

1. 사례 연구지역 및 분석 자료

1) 사례 연구 지역

본 연구에서의 공간적 범위는 국내에서 도로 네트워크가 가장 잘 발달되어있고 복잡한 서울시로 서울시내의 주요 도시고속도로를 사례 연구 대상으로 설정하였다.

서울시는 대한민국의 수도로 면적 605.25km²로 국토 면적의 0.61%, 행정구역은 2012년 기준 25개의 구와 423개의 행정동과 467개의 법정동으로 이루어져있고 인구는 1,019만 명으로 전체 인구의 20%를 차지하고 있다.

2) 서울시 도로망 체계

서울시의 도로연장은 2012년 12월 기준 8,198km로 전체 포장률 100%이다. 이 중 도시고속도로의 연장은 153.6km로 약 2%에 해당한다.

서울시의 주요 도시고속도로는 올림픽대로, 동부간선도로, 북부간선도로, 내부순환로, 강변북로 및 서부간선도로가 이에 해당한다.

올림픽대로는 서울특별시 강동구 강일동 교차로에서 행주대교까지 한강의 남쪽을 따라 지어진 37km의 도로이다. 이 도로는 왕복 6~8차로로 1982년 9월에 착공하여 1986년 5월에 완공되었다.

올림픽대로와 평행으로 한강의 북쪽에는 강변북로가 위치하고 있다. 이 도로는 서울특별시 광진구 광장동 시계에서 상암동 시계까지 이어진 연장 28.5km, 왕복 4~10차선의 도로이다.

동서축을 대표하는 두 도시고속도로는 도심교통을 외곽으로 분산 및 물자 수송 등 종합적인 기능을 수행하고 있다.

남북축에는 동부간선도로와 서부간선도로가 있다. 우선 동부간선 도로
는 서울특별시 노원구 상계동 시계에서 장지동시계까지 이어지는 연장
33km, 왕복 4~8차선의 도로이다. 1988년 착공하여 1999년이 돼서야 지
금의 동부간선도로가 완공이 되었다. 이 도로는 서울과 분당을 연결하여
수도권의 남북축 지역의 교통난 완화와 물자수송을 위한 목적으로 건설
되었다.

서부간선도로는 서울특별시 영등포구 제물포길에서 시흥대교까지 이
어주는 9.8km의 도로로 1987년 착공하여 1991년에 완공되었고 서울에서
안양을 연결하여 수도권의 남서부 지역의 교통난 완화 및 원활히 물자를
수송하는 역할을 한다.

내부순환로는 성산대교 북단에서 서울 시내를 연결하는 역할을 하고
있고 연장 40.1km, 왕복 6차선의 도로이다. 이 도로는 도시의 순환도로
의 기능하고 있으며 서울외곽순환도로와 연계하여 서울 주변 도시와 원
활한 소통을 위해 1999년 완공되었다.

마지막으로 북부간선도로는 서울의 북동부와 북서부를 이어주는 도
로로 서울특별시 성북구 하월곡동에서 묵동을 연결하고 있다. 이 도로의
연장은 5.2km로 다른 도시고속도로에 비해 연장이 짧지만 서울외곽순환
도로, 내부순환로 및 동부간선도로와 연결되어 서울의 북동부 지역과 경
기도의 동부지역을 이어주고 교통난 해소를 위한 목적으로 건설되었다.

<표 IV-1>과 <그림 IV-1>은 서울시의 도시고속도로 현황과 위치를
표시한 것이다.

<표 IV-1> 서울시 도시고속도로 현황

No.	저 자 (연도)	구 간		차로 수	연장 (km)
		기점	종점		
1	올림픽 대로	강동구 강일동	행주대교 남단	6~8	37
2	동부 간선도로	노원구 상계동 시계	송파구 장지동 시계	4~8	33
3	북부 간선도로	성북구 하월곡동	중랑구 묵동	4	5.2
4	내부 순환로	성산대교 북단	서울시내 내부	6	40.1
5	강변북로	광진구 광장동 시계	상암동 시계	4~10	28.5
6	서부 간선도로	영등포구 양평동	금천구 독산동	4~6	9.8
합 계		6개 노선		4~10	153.6

자료: 네이버 지식백과 (<http://terms.naver.com/>)



<그림 IV-1> 서울시 도시고속도로 현황

3) 분석 자료 설명

사례 연구에 사용한 자료는 2013년 수도권 교통본부(MTA)에서 배포한 2012년 기준 O/D 및 네트워크 자료를 사용하였다.

2012년 기준 자료는 수도권 1,107개 수도권외 166개의 존으로 총 1,273개의 존으로 구성되어있다.

O/D 자료는 이전의 배포자료에 비해 상세히 구분되어 있었다. 이 중 본 연구에서는 총 수단 O/D 자료를 이용하였다.

2. 접근성 지표 산출

1) 도로교통망 정산

이 장에서는 분석 자료를 활용하여 제시한 접근성 지표 산출을 한다. 그 후 서울시 도시고속도로의 취약 링크를 선별한다.

분석에 앞서 도로망과 같은 상황을 묘사하기 위하여 교통수요 분석 프로그램 중 하나인 Emme/3를 이용하여 네트워크 정산과정을 거쳤다.

정산의 결과는 <부록 1>에 수록하였으며 전체적인 오차율은 -2% 정도로 준수한 편이었으나 내부순환로의 월곡-마장 구간, 북부간선도로의 월릉JC-목동IC 구간등 일부에서는 오차율이 20%이상 크게 나타났다. 그 이유는 현재 배포되고 있는 네트워크 자료에서 도시고속도로의 주변 도로 기능을 표현하는 VDF(Volume Delay Function)이 실제보다 높게 또는 낮게 설정이 되어있기 때문이다.

하지만 오차율 차이가 많이 나는 일부 구간을 맞추기 위해 주변 도로의 기능을 다시 설정을 하게 되면 오히려 다른 구간의 오차율이 커지게 되었다. 따라서 본 연구에서는 일부 구간의 오차율을 감안하고 분석을 진행하였다.

2) 통행저항함수 추정 결과

Ⅲ장에서 언급한 것과 같이 접근성 지표를 산출하기 전에 통행 저항 함수를 추정해야 한다. 위에서 언급한 세 가지 함수는 대수변환을 통해 선형회귀분석으로 추정 할 수도 있다. 하지만 통계분석 프로그램 중 하나인 SPSS는 선형회귀분석 뿐만 아니라 비선형의 함수도 대수변환을 하지 않고 회귀분석이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 SPSS를 통해 비선형회귀분석을 수행하여 통행저항함수를 추정을 하였다.

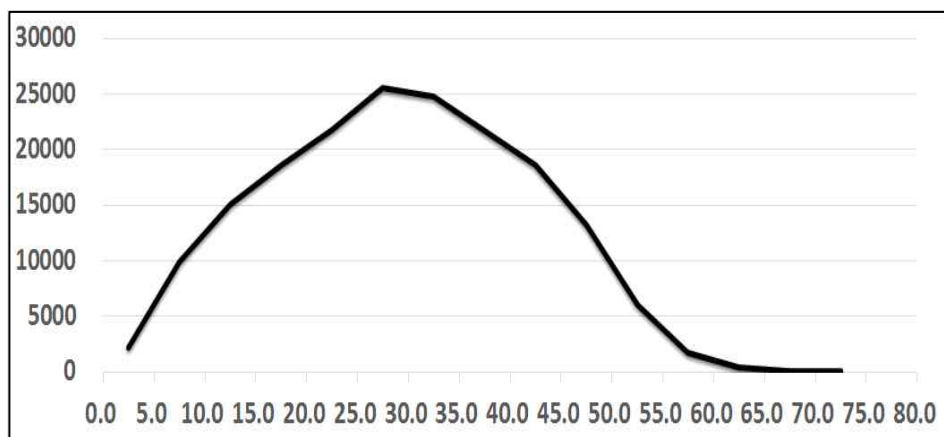
통행저항함수 추정을 위한 데이터는 링크를 폐쇄하기 전 통행배정을 한 결과로 나온 존간 통행시간 O/D표를 이용하였다. 통행거리가 아닌 통행시간을 이용한 이유는 기존 네트워크에서 중요 링크가 하나 폐쇄된 이 후 통행시간 또는 거리는 일반적으로 증가 할 것으로 예상된다. 하지만 본 연구의 통행배정결과는 통행시간의 경우는 어떤 링크를 폐쇄해도 모두 증가를 했지만 통행거리의 경우는 오히려 감소하는 링크도 발생하였다. 따라서 일반적인 결론을 도출하기 위해 통행거리가 아닌 통행시간 O/D를 사용하여 통행저항함수를 추정하였다. 또 사례 지역이 서울 시내 인 것을 고려하여 수도권 전체 통행시간 O/D가 아닌 서울시 존간 통행 시간 O/D를 사용하였다. 서울시는 424개의 존 체계로 구성 되어 있다. 그리고 존 내부 통행저항은 고려하지 않았으며 통행시간 Bean의 크기는 5분으로 설정하였다.

통행배정을 통해 산출된 서울시내 통행시간 빈도는 다음<표Ⅳ-2>와 같다. 여기서 빈도라 함은 서울시내 각존에서 각 계급에 속한 통행시간 내에 다른 존으로 통행 할 수 있는 수를 나타낸 것이다.

그 결과 도로 이용자가 이동을 할 때 출발지에서 25분-30분 정도 떨어진 목적지로 향하는 빈도가 가장 많았고 대부분의 통행이 1시간 이내의 통행을 하고 있었다.

<표 IV-2> 통행 빈도 히스토그램

통행시간	빈도	통행시간	빈도
0-5분	2,165	40-45분	18,639
5-10분	9,846	45-50분	13,214
10-15분	15,065	50-55분	5,996
15-20분	18,548	55-60분	1,727
20-25분	21,766	60-65분	355
25-30분	25,546	65-70분	66
30-35분	24,746	70-75분	22
35-40분	21,651	합계	179,352

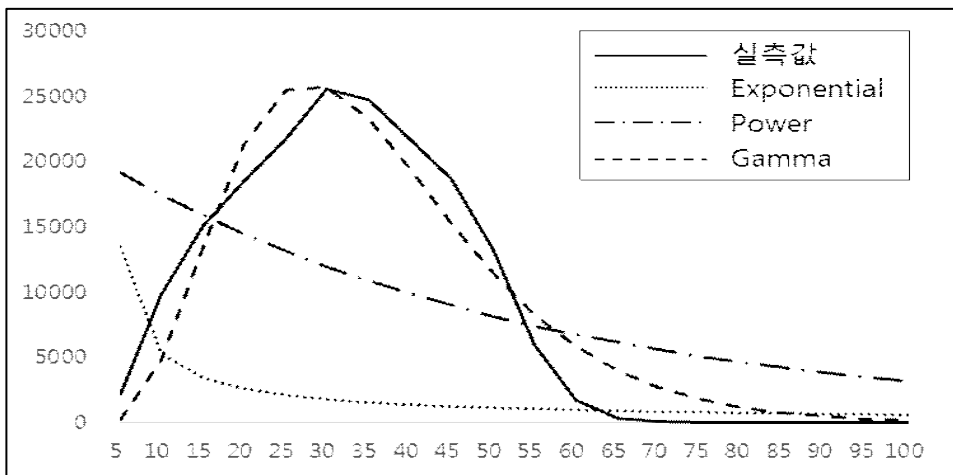


<그림 IV-2> 통행 빈도 그래프

통행저항함수는 <식 III-7>, <식 III-9>, <식 III-11>을 이용하여 모수를 추정하였다. 그 결과 <그림 IV-3>처럼 통행시간이 짧은 구간에서는 통행빈도가 기하급수적으로 증가하는 Exponential과 Power함수의 단점이 나타났고 R^2 값도 각각 0.599, 0.24로 실측값을 설명하기에는 부족하였다. 하지만 Gamma함수 형태는 통행시간이 짧은 구간에서도 실측값과 비슷한 패턴을 보이고 있었으며 R^2 값도 0.963으로 충분히 설명을 할 수 있다고 판단되었다.

<표 IV-3> 통행저항함수 추정 결과

Exponential		Power		Gamma	
α	20132.09	α	29135.1	α	16.045
β	-0.019	β	-0.844	β	3.314
γ	-	γ	-	γ	-0.131
R^2	0.599	R^2	0.24	R^2	0.963



<그림 IV-3> 통행저항함수 추정 결과

따라서 본 연구에서의 최종적인 통행저항함수의 식은 다음과 같다.

$$f(t_{ij}) = 16.045 * (t_{ij}^{3.314}) * \exp(-0.131 * t_{ij}) \quad \text{<식 IV-1>}$$

여기서, t_{ij} : i 지역에서 j 지역까지 통행시간

$f(t_{ij})$: 통행시간이 t_{ij} 일 때 통행빈도

3) 총 통행시간 및 통행 거리 산출

링크 폐쇄시의 전반적인 영향을 살펴보기 위해 <식 III-1> - <식 III-4>를 이용하여 값을 산출한다. 그 결과는 <부록 2>에 수록하였다.

<표 IV-4> 총 통행시간 산출 결과

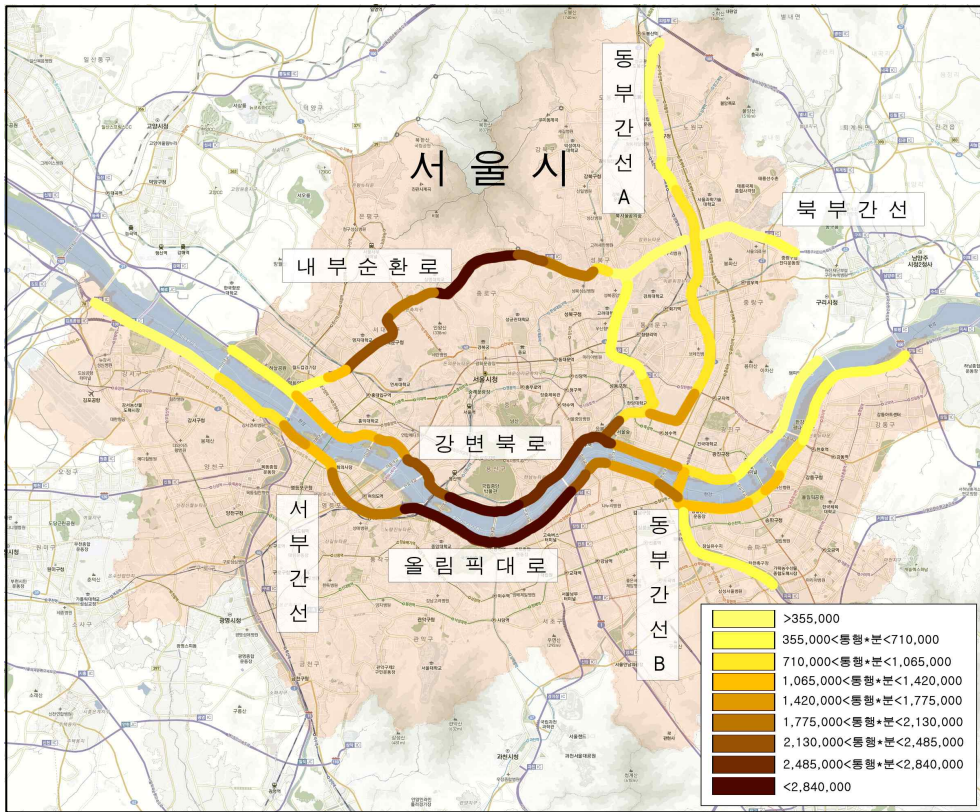
(단위: 통행·분)

도로명	폐쇄 구간	<식 III-3>	차이	순위
기본		179,593,276	-	1
올림픽대로	여의상류 - 한강	182,842,528	3,249,251	66
	한강 - 동작	182,844,350	3,251,074	67
	동작 - 반포	183,116,860	3,523,584	69
	반포 - 한남	182,518,699	2,925,423	63
	한남 - 동호	181,876,276	2,282,999	60
강변북로	한강 - 동작	182,637,644	3,044,368	64
	동작 - 반포	183,106,318	3,513,041	68
	반포 - 한남	182,098,253	2,504,977	62
	한남 - 동호	182,020,429	2,427,152	61
내부순환	홍지문T-정릉T	182,836,903	3,243,627	65

각각의 링크를 폐쇄한 후 총 통행시간은 폐쇄전보다 모두 증가하였다. 하지만 올림픽대로의 행주-방화 구간을 폐쇄 했을 때는 총 179,646,287통행·분으로 폐쇄 전보다 총 53,011통행·분이 증가한 반면 같은 도로의 동작-반포구간은 3,523,584통행·분이 증가되었다. 동작-반포구간뿐 아니라 올림픽대로의 여의상류-동호대교구간, 강변북로의 한강대교-동호대교구간, 내부순환도로의 홍지문터널-정릉터널 구간이 폐쇄 되었을 때 폐쇄 전보다 2백만 통행·분이 증가를 하여 가장 적게 증가한 수와 상당한 차이를 보이고 있었다.

즉, 총 통행거리 측면에서는 서울시 도시고속도로 링크 69개 중 위의 10개 링크 구간이 폐쇄가 되면 다른 링크가 폐쇄 되었을 때보다 서울시 전체 통행시간에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 분석된다.

그 영향을 해당 링크가 지나가는 행정동의 종사자수, 인구밀도, 도로 밀도, 해당링크 교통량 등 사회경제지표로 살펴보았다. 도로밀도는424개



<그림 IV-4> 총 통행시간 주제도

존 중 최하 421번째에서 최고 96번째로 몇몇 동을 제외 하고는 대부분 중하위권의 분포를 보이고 있다. 하지만 종사자수와 인구밀도의 경우는 상위권-하위권으로 고루 분포가 되어 있어 특징을 찾기는 어려웠다. 사회경제지표 중 총 통행시간과 가장 밀접하다고 생각되는 것은 해당 링크의 교통량이다. 링크 폐쇄로 인해 총 통행시간이 가장 많이 증가된 곳은 서울시의 도시고속도로에서도 가장 많은 교통량이 지나가는 링크들이다. 가장 영향이 크다고 판단되는 올림픽대로와 강변북로의 구간 일교통량이 모두 20만대가 이상 통행을 하고 있다. 또 내부순환도로도 올림픽대로와 강변북로처럼은 아니자만 15만대 이상으로 상당한 교통량이 지나가고 있다.

하지만 해당 링크의 교통량만으로 그 요인을 단정 할 수는 없다. 교

통량이 많아도 폐쇄된 링크 주변의 교통망이 잘 형성되어 충분히 해당 링크의 교통량을 수용할 수 있다면 그 영향은 크지 않을 것이다.

따라서 통행시간 증가의 요인을 살펴 볼 때에는 1개의 요소가 아닌 4개의 요소를 모두 종합적으로 살펴봐야 한다.

우선, 위의 구간의 앞서 말한 바와 같이 링크 교통량이 가장 많이 지나가는 링크들 중 하나이다. 또한 도로밀도는 서울시 평균이 18.04인데 반해 대부분이 평균을 밑돌고 있다. 그리고 올림픽대로는 여의도-강남을 연결을 해주는 부분이 크게 증가하였다. 이는 도심을 연결해주는 도로가 폐쇄가 되면서 주변 도로에 많은 교통량이 전이가 되면서 통행시간을 증가시킨 것으로 판단된다. 이와 비슷하게 강변북로는 도심으로 가기 전에 위치하고 있어 통행 시간이 크게 증가한 것으로 보인다. 그리고 내부순환도로의 홍지문터널-정릉터널의 경우는 해당 링크가 폐쇄가 된다면 주변에 가까운 우회경로가 없다. 따라서 우회를 하려면 4대문을 통과하여 이동 혹은 외부순환고속도, 강변북로 또는 올림픽대로로 우회를 하여 목적지에 도달을 해야 하기 때문에 그 이동거리 또는 시간이 증가가 될 수 있다.

<표 IV-5> 폐쇄 링크 통과 행정동 사회경제적 요소 (총 통행시간)

도로명	폐쇄 구간	행정동	도로밀도 (km/km ²)	도로밀도 순위	종사자수 (명)	종사자수 순위	인구밀도 (명/km ²)	인구밀도 순위	해당 링크 교통량
올림픽 대로	여의상류 - 한강	영등포 여의	5.50	407	144,894	1	4,091	8	214,918
		동작 노량진1	27.86	143	10,811	102	22,157	97	
	한강 - 동작	동작 노량진1	27.86	143	10,811	102	22,157	97	257,748
	동작 - 반포	동작 흑석	25.35	189	9,261	127	21,746	89	219,121
		동작 사당2	10.67	356	5,488	220	10,927	38	
		서초 반포본	10.59	358	2,296	380	13,529	202	
	반포 - 한남	서초 반포2	7.16	395	1,990	390	16,274	127	214,547
		서초 반포3	5.73	406	5,766	211	19,106	132	
	한남 - 동호	서초 잠원	17.83	276	15,673	67	20,445	80	226,619
		강남 압구정	18.81	261	26,298	40	11,711	48	
강변 북로	한강 - 동작	용산 이촌1	3.63	421	3,553	322	9,932	33	261,371
	동작 - 반포	용산 서빙고	12.68	336	4,161	279	5,163	35	267,199
	반포 - 한남	용산 서빙고	12.68	336	4,161	279	5,163	35	200,518
		용산 보광	33.23	96	1,774	404	25,861	301	
		용산 한남	21.34	230	15,694	66	8,496	26	
내부순환 도로	홍지문T - 정릉T	종로 부암	16.76	290	3,432	331	5,056	60	156,007
		종로 평장	8.23	379	2,499	369	2,234	5	

총 통행거리의 경우 총 통행시간과는 전혀 다른 결과가 도출 되었다. 총 통행시간은 링크 폐쇄 후 폐쇄전보다 모두 증가 한 반면, 총 통행 거리는 오히려 감소하는 구간이 더 많았다.

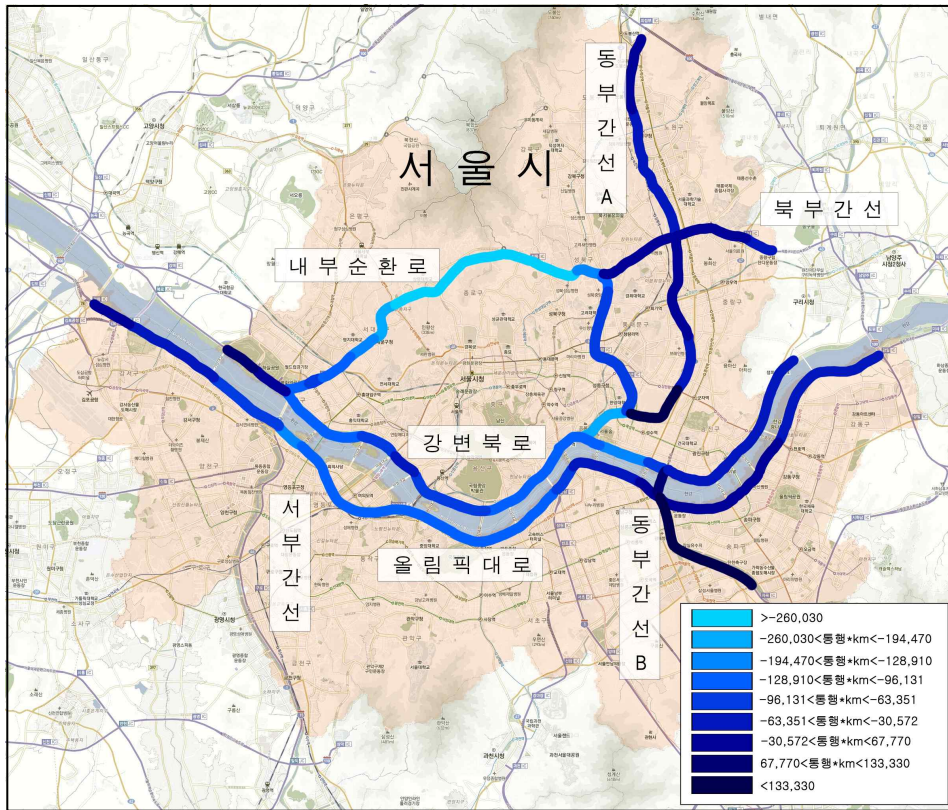
통행거리가 감소한 구간은 오히려 통행시간이 많이 증가했던 올림픽대로구간, 강변북로구간, 내부순환로 구간이다. 강변북로와 올림픽대로의 경우 연속류에서 단속류로 이동경로가 바뀌면서 오히려 통행거리는 줄어들었지만 해당링크의 많은 교통량이 도심부 단속류 구간으로 유입이 되면서 신호 지체가 길어지면서 통행시간이 증가 한 것으로 보인다. 즉, 도시고속도로를 이용하지 않는 최단경로는 있지만 시간이 많이 소요가 되어 이용자는 통행거리는 증가 하더라도 통행시간이 감소하는 경로를 선택하는 것으로 판단된다.

내부순환로의 경우는 서울외곽순환으로 우회 하는 것은 Emme/3 알고리즘에서 배제를 한 것으로 보인다. 따라서 우회 경로를 도심을 통과 하는 것으로 설정되면서 거리는 단축되었지만 시간은 증가된 것으로 생각된다.

<표 IV-6> 총 통행거리 산출 결과

(단위: 통행·km)

도로명	폐쇄 구간	<식 III-4>	차이	순위
기본		79,431,536	-	48
올림픽대로	행주 - 방화	79,460,916.34	29,380	60
	잠실철 - 올림픽	79,462,619.13	31,083	61
동부간선도로	성동JC - 군자교	79,779,143.06	347,607	69
	장지IC - 수서IC	79,576,694	145,158	66
	수서IC - 탄천IC	79,578,448	146,911	67
	탄천IC - 청담남단	79,605,176	173,640	68
	청담남단 - 청담북단	79,519,629	88,093	65



<그림 IV-5> 총 통행거리 주제도

총 통행거리가 증가 한 곳을 살펴보면 대체적으로 동부간선도로 B (남부) 도로이다. 폐쇄로 인해 총 통행거리가 증가한 곳은 다른 요소들은 총 통행시간과 마찬가지로 순위 분포가 넓게 퍼져있었다. 하지만 도로밀도의 경우 대부분 낮은 순위에 위치해 있었다. 서울시 전체 424개의 행정동에서 대부분 하위권에 위치해 있었다. 하지만 성동JC - 군자교 구간에서 성동구 송정동의 경우 도로밀도가 272.23으로 서울시에서 가장 높게 나타났지만 지도를 살펴보면 송정동의 한 가운데로 동부간선도로와 중랑천이 지나가고 있고 주택지역의 면적은 그리 크지 않은 것을 볼 수 있다. 따라서 총 통행거리의 경우 총 통행시간과는 다르게 도로 밀도가 통행 거리를 증가시키는데 상당한 역할을 하는 것으로 보인다.

<표 IV-7> 폐쇄 링크 통과 행정동 사회경제적 요소 (총 통행거리)

도로명	폐쇄 구간	행정동	도로밀도 (km/km ²)	도로밀도 순위	종사자수 (명)	종사자수 순위	인구밀도 (명/km ²)	인구밀도 순위	해당 링크 교통량
올림픽 대로	행주-방화	강서 방화2	10.05	365	12,130	90	4,073	411	129,236
		강서 방화3	8.31	377	6,850	178	11,546	353	
	잠실철-올림픽	송파 잠실4	3.06	422	1,890	395	20,199	269	169,699
		송파 풍납2	18.02	272	14,637	74	18,133	290	
동부간선 도로	성동JC - 군자교	성동 송정	272.23	1	2,581	363	18,707	284	134,705
		성동 성수1가2	71.93	6	11,166	95	21,243	260	
	장지IC - 수서IC	송파 문정2	9.17	370	10,279	110	7,252	389	152,986
		송파 가락1	7.01	396	10,371	107	4,919	403	
		강남 수서	15.85	300	14,416	77	11,770	350	
	수서IC - 탄천IC	강남 일원1	14.76	314	4,248	274	20,602	266	134,155
		강남 일원2	6.38	399	5,505	218	15,494	319	
	탄천IC - 청담남단	강남 일원2	6.38	399	5,505	218	15,494	319	184,230
		강남 대치2	27.03	157	48,576	13	21,597	257	
		송파 잠실7	9.90	366	970	421	17,990	293	
		강남 삼성	17.30	285	57,706	9	8,345	380	
	청담남단 - 청담북단	강남 삼성1	17.30	285	57,706	9	8,345	380	126,710
		강남 청담	19.10	256	37,003	21	13,644	337	
		광진 자양	14.60	319	6,130	195	26,913	180	
북부간선	종암JC - 하월곡	성북 종암	67.59	7	7,316	171	67,517	2	66,201
		성북 월곡2	36.68	61	7,627	163	27,680	172	
강변북로	가양-난지	마포 상암	5.46	408	27,067	34	4,004	412	227,788

4) 접근성 지표 산출 및 취약링크 선정

위에서는 간단하게 통행량과 통행시간 또는 통행거리로 링크가 폐쇄되었을 때 어떤 링크가 서울시 전체에 가장 큰 영향 주는지 파악하였다.

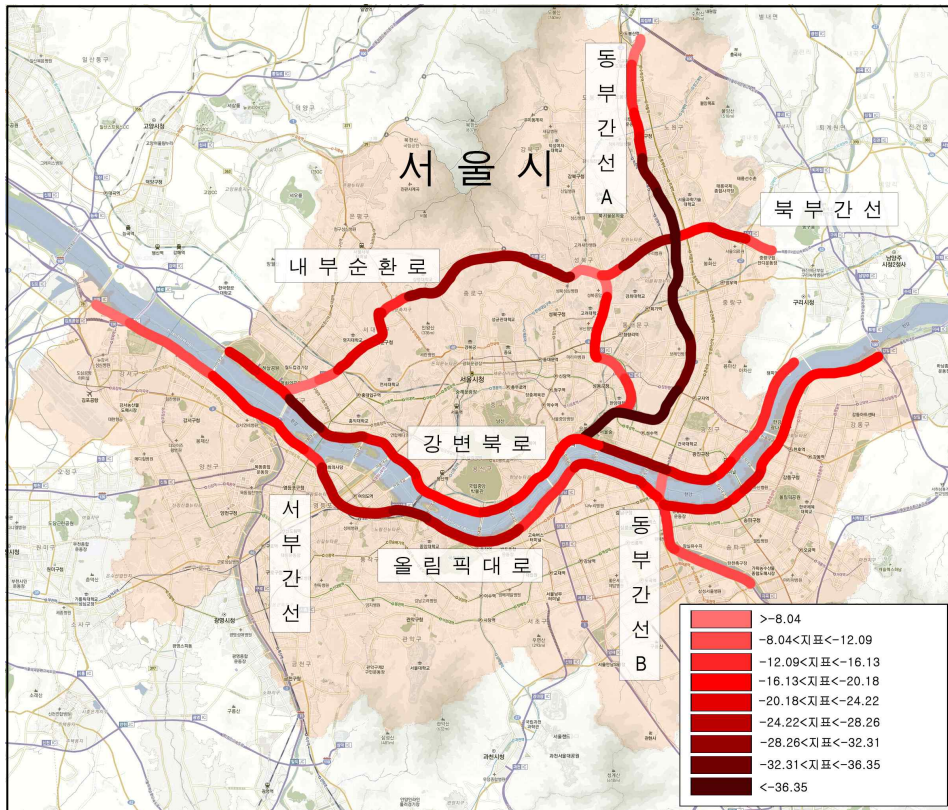
본 절에서는 연구에서 제안한 접근성 지표를 이용하여 링크가 폐쇄되었을 때 서울시의 접근성 변화를 파악 한다.

접근성 지표는 통행기회로 설정한 통행량은 <가정. 2>로 인해 변하지 않는다. 즉, 통행저항의 값에 따라 지표가 바뀌게 된다. 따라서 본 연구의 접근성 지표의 변화는 통행저항 1단위 증감에 따른 접근성의 증감을 의미한다.

<식 III-5>, <식 III-6> 그리고 <식 IV-1>을 이용하여 접근성 지표를 산출 하였다

<표 IV-8> 취약 링크 선정 결과

도로명	폐쇄 구간	<식 III-6>	차이	순위
기본		4,371.42	-	1
동부간선도로	성수JC - 성동JC	4,327.32	-44.10	69
	성동JC - 군자교	4,326.08	-45.34	68
	군자교 - 장안교	4,334.16	-37.26	63
	장안교 - 중랑교	4,330.46	-40.96	65
	중랑교 - 월릉JC	4,330.39	-41.03	66
	월릉JC - 월계1교	4,330.20	-41.22	67
	월계1교 - 녹천교	4,333.57	-37.85	64
강변북로	성산 - 양화	4,336.39	-35.02	62
	성수 - 영동	4,339.63	-31.79	60
	영동 - 청담	4,339.44	-31.98	61



<그림 IV-6> 접근성 지표 주제도

본 연구의 분석 결과로 서울시의 도시고속도로 중 폐쇄로 인해 가장 접근성이 낮은 구간은 동부간선도로의 성수JC - 녹천교 구간과 강변북로의 성산 - 양화구간, 성수 - 청담 구간이고 이 구간은 다른 링크가 폐쇄 되었을 때 보다 서울시의 존간 접근성을 낮추는 것으로 분석되었다. 따라서 이 구간은 링크가 폐쇄 되었을 때 다른 링크에 비해 취약하다고 정의 할 수 있다.

전반적으로 접근성 지표는 총 통행거리의 분포와 비슷하게 도출되었다. 그 이유는 총 통행거리에서도 언급한 바와 같이 지역의 도로밀도가 서울시 전체의 평균보다도 낮고 높은 지역이 있다 하더라도 고속화도로가 지나가는 등 입출입이 자유롭지 않은 도로가 지나가고 있어 도로밀도

와 상관이 없는 지역들이다.

또 통행저항함수를 추정 할 때 통행시간을 이용하여 추정을 했음에도 총 통행시간과 결과가 다르게 나온 이유는 다른 지역에 비해 통행량에 비해 통행시간의 변화가 크기 때문이다. 통행저항 함수는 선형으로 감소하는 것이 아닌 통행시간의 변화가 크면 클수록 급격하게 감소하게 된다. 예를 들어 총 통행시간 산출 결과에서는 여의도-강남 지역을 연결을 해주는 구간이 통행시간이 가장 많이 증가하였다. 하지만 이 곳은 통행량이 많아 통행시간이 조금만 증가하더라도 전체적인 통행시간이 크게 증가하게 된다. 하지만 개개인의 통행시간은 크게 변하지 않았기 때문에 접근성 지표의 값은 링크 폐쇄전과 비교했을 때 큰 차이가 나지 않는 것이다. 하지만 동부간선도로의 경우는 올림픽대로의 상황과는 다르게 통행량도 적을 뿐 아니라 도로 이용자의 통행시간 증가도 크게 발생하게 되어 접근성 지표의 값이 크게 떨어지게 나타났다.

하지만 나머지 요소들인 종사자수, 인구밀도, 면적의 경우 보여지는 값들로는 접근성 지표에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 파악된다. 왜냐하면 위에서도 언급한 바와 같이 지표의 값은 작지만 다른 요소들은 그 분포가 넓게 퍼져있기 때문이다.

그리고 강변북로에서는 내부순환로와 연결되는 성산JC 근처와 동부간선도로와 만나는 성수JC 근처에서 접근성이 크게 떨어지는 것으로 나타났다. 그 이유는 해당 링크의 교통량도 많을 뿐 아니라 동부간선도로와 마찬가지로 다른 지역에 비해 통행시간의 변화가 크게 나타나기 때문이다.

<표 IV-9> 폐쇄 링크 통과 행정동 사회경제적 요소 (접근성 지표)

도로명	폐쇄 구간	행정동	도로밀도 (km/km ²)	도로밀도 순위	종사자수 (명)	종사자수 순위	인구밀도 (명/km ²)	인구밀도 순위	해당 링크 교통량
동부간선 도로	성수JC - 성동JC	성동 성수1가2	71.93	6	11,166	95	21,243	260	241,722
		성동 성수1가1	14.39	323	5,617	213	9,388	371	
	성동JC - 군자교	성동 송정	272.23	1	2,581	363	18,707	284	134,705
		성동 성수1가2	14.39	323	11,166	95	21,243	260	
	군자교 - 장안교	중랑 면목5	28.00	141	3,596	316	22,511	241	153,092
		중랑 면목4	72.26	5	3,433	330	20,391	268	
		광진 중곡3	32.42	103	4,205	278	31,843	130	
		광진 중곡1	36.13	66	6,112	196	27,813	171	
	장안교 - 중랑교	동대문 회경1	38.76	49	4,039	288	28,133	168	158,169
		동대문 회경2	34.84	77	4,409	266	25,135	205	
		중랑 면목2동	18.27	268	6,030	203	38,910	69	
		중랑 면목5동	28.00	141	3,596	316	22,511	241	
	중랑교 - 월릉JC	성북 석관동	27.57	148	7,042	173	22,096	250	157,900
		중랑 묵2동	27.54	150	5,399	222	28,953	159	
		중랑 중화2동	41.61	35	7,560	165	28,953	159	
		동대문 이문2	32.89	98	2,126	384	34,309	100	
	월릉JC - 월계1교	노원 월계3	8.13	380	3,549	323	30,757	141	154,163
		노원 공릉1	21.20	231	10,716	103	28,691	160	
	월계1교 - 녹천교	노원 상계6,7	14.67	316	14,903	71	33,516	108	137,243
		노원 하계2	11.81	345	1,169	418	50,812	13	
		노원 월계3	8.13	380	3,549	323	30,757	141	

<표 계속>

도로명	폐쇄 구간	행정동	도로밀도 (km/km ²)	도로밀도 순위	종사자수 (명)	종사자수 순위	인구밀도 (명/km ²)	인구밀도 순위	해당 링크 교통량
강변북로	성산 - 양화	마포 망원2	25.91	178	3,572	320	31,866	129	217,615
		마포 망원1	25.42	186	3,790	304	21,521	258	
		마포 합정	20.80	233	8,490	141	12,192	345	
	성수 - 영동	성동 성수1가1	14.39	323	5,617	213	9,388	371	262,070
		성동 성수1가2	71.93	6	11,166	95	21,243	260	
	영동 - 청담	광진 자양4	29.66	124	6,816	179	24,878	209	189,520

3. 소결

본 장에서는 총 통행시간, 총 통행거리 그리고 연구에서 제시한 접근성 지표를 이용하여 링크 폐쇄에 따른 영향을 살펴보았다. 그 결과는 3가지 지표 모두 상이하게 나타났다.

총 통행시간은 링크가 폐쇄됨으로 인해 모든 구간에서 통행시간이 증가하는 것으로 나타났다. 그리고 링크 폐쇄로 인해 가장 영향을 많이 주는 구간은 강남-여의도를 연결하는 구간과 사대문의 통과 교통량을 처리하기 위한 내부순환로이다. 하지만 통행시간의 증가 요소는 하나의 요소로만 설명이 되는 것이 아닌 도로밀도, 해당링크 교통량 등 여러 요소가 복합적으로 통행시간 증가에 영향을 주는 것으로 파악되었다.

총 통행거리는 링크 폐쇄 후에 오히려 통행거리가 감소하는 구간이 많이 나타나 총 통행거리와는 다른 결과가 나왔다. 그리고 그 구간은 총 통행시간이 크게 증가했었던 구간에서 발생했다. 그 이유로는 많은 교통량이 연속류에서 단속류로 경로를 바꾸면서 통행거리는 감소했지만 유입된 교통량으로 인해 신호 지체가 길어지면서 통행시간은 증가한 것으로 생각된다. 총 통행거리가 증가 한 곳은 동부간선도로 B(남부)도로로 도로 밀도가 대체적으로 낮은 지역이다.

마지막으로 접근성 지표 및 서울시의 취약링크는 동부간선도로의 성수JC - 녹천교 구간과 강변북로의 성산 - 양화구간, 성수 - 청담 구간이다. 하지만 접근성 지표의 경우 예상과는 다르게 총 통행거리의 분포와 비슷하게 도출 되었다. 그 이유로는 도로밀도가 낮고 통행저항함수로 인해 다른 지역에 비해 통행시간의 변화가 크게 나타났기 때문이다.

V. 결론

1. 연구의 요약 및 해석

도로망의 발달로 인해 우리는 편리함과 사회경제적인 편리함을 누려왔다. 하지만 도로교통망은 자연·인적 재해로 인해 방해를 받을 수 있고 실제로 매년 이러한 사건이 발생되고 있다.

이러한 이유로 해외에서는 도로교통망에 초점을 둔 연구가 활발히 진행되고 있는 반면 국내에서는 도로교통망의 기능 저하에 대한 문제가 부각이 되고 있을 뿐 그에 따른 연구와 논의가 부족한 상태이다.

본 연구에서는 이러한 흐름에 맞춰 선행연구 고찰을 통해 도로교통망 취약성연구의 흐름을 파악하고 접근성 개념을 차용하여 서울시 도시고속도로를 대상으로 취약성 분석을 하였다.

접근성은 교통체계의 통행기와 저항을 모두 고려 할 수 있는 범용성을 내포하고 있고 취약성 연구 뿐 아니라 많은 분야에서 널리 사용되는 개념이다. 연구에서 정의한 취약성의 개념은 Taylor et al. (2004)에서 차용하여 ‘특정 링크에서 발생한 사건으로 인해 전체 교통망의 접근성이 저하되는 정도’라 하였으며 여기서 접근성은 ‘특정 장소에서 다른 장소까지 쉽게 도달할 수 있는 정도’로 정의 하였고 서울시의 주요 도시고속도로를 대상으로 사례 연구를 실시하였다.

접근성 지표 모형을 제시하기에 앞서 간략하게 총 통행시간과 통행거리를 이용하여 사회전반적인 영향을 살펴보았다. 그 결과, 총 통행시간의 경우 서울시의 도시고속도로 중 어떠한 링크를 폐쇄 시켜도 전체적인 통행시간은 증가가 되었고 그 이유는 교통량이 가장 큰 요인처럼 보이지만 하나의 요소가 영향을 미치는 것이 아닌 도로밀도, 해당링크 교통량, 통행량 등 여러 요소에 의해 통행시간이 증가하는 것으로 파악되었다. 총 통행거리의 경우는 연속류에서 단속류로 이동경로가 바뀌면서 유입된 교통량으로 인해 신호 지체가 발생함으로 인해 오히려 통행거리가 감소

하지만 통행시간은 증가하는 구간이 있는 반면에 도로밀도가 낮아 총 통행거리가 증가하는 구간도 생겼다.

접근성 지표를 산출하기 위해 통행저항함수도 함께 추정을 하였다. 일반적인 통행저항함수는 수요예측 4단계 과정 중 통행분포 단계에서 중간 통행수요량을 예상 또는 예측하기 위해 추정 한다. 하지만 본 연구에서는 계수의 사칙연산시 단위의 문제로 인해 연산을 할 수 없게 된다. 따라서 이를 도와주기 위한 매개체로써 통행저항함수를 이용하였다.

통행저항함수의 추정결과는 3가지 저항 함수 중 Gamma함수가 가장 설명력이 높은 것으로 나타나 Gamma함수를 이용하여 접근성 지표를 산출 하였다. 그 결과 동부간선도로와 강변북로 일부구간이 접근성지표가 가장 낮게 산출되어 서울시의 취약링크로 선별하였다. 하지만 접근성 지표의 산출 결과는 예상과는 다르게 총 통행거리와 비슷한 형태를 보였다. 그 이유는 2가지로 이야기 할 수 있다. 첫째, 총 통행거리와 마찬가지로 도로밀도가 서울시 평균보다 낮은 지역이 다수 있었고 두 번째로는 통행저항함수의 영향이다. 통행저항함수는 선형으로 감소하는 것이 아닌 통행시간의 변화가 크면 급격하게 감소하게 된다. 따라서 통행량은 고정되어 있지만 통행시간 변화가 다른 링크를 폐쇄했을 때보다 크게 변화되어 접근성이 떨어지는 것으로 파악 되었다.

2. 연구의 한계 및 향후 과제

취약성을 실제 도로망에서 분석하는 과정에서 다음과 같은 연구의 한계를 가지고 있다.

첫째, 본 연구의 가정이다. 연구에서는 2가지 가정을 세우고 분석을 시행하였다. 첫 번째 가정은 사건은 한 번에 하나의 링크에서만 발생하고 해당링크에만 영향을 준다고 했다. 하지만 실제 교통망에서 사건은 동시다발적으로 다수의 지점에서 발생할 수도 있고 그 사건이 해당링크

뿐 아니라 주변링크에도 영향을 줄 수 있다. 하지만 사건이 영향을 미치는 범위 및 발생하는 위치를 파악하기는 현실적으로 어려우므로 가정으로 대체 했다. 두 번째 가정은 ‘링크의 기능이 저하 또는 폐쇄 되어도 이용자는 목적지 및 수단을 변경하거나 통행을 포기하지 않는다.’이다. 하지만 현실적으로 도로 이용자는 우회경로를 찾는 활동 이외에도 출발시간을 늦추거나 목적지 또는 수단을 변경할 가능성이 가장 크다. 따라서 향후에는 이를 파악하여 합리적인 취약성 평가 방법을 고려해야 한다.

둘째, 도로교통망 뿐 아니라 대중교통망도 같이 고려를 하여야 한다. 본 연구에서는 도로교통망을 이용하는 차량들만을 대상으로 분석을 하였다. 이 중 버스도 포함이 되어있지만 버스의 노선까지 고려하지는 않았다. 그리고 서울시는 대중교통이 버스만 운영되고 있는 것이 아니라 지하철도 함께 운영이 활발하게 되고 있다. 따라서 도로교통망 뿐 아니라 대중교통망도 함께 고려하여 분석이 시행되어야 한다.

셋째, 연구 범위의 문제이다. 이번 분석에서는 공간적으로 서울시의 도시고속도로로 한정하여 분석을 시행하였다. 하지만 서울시의 경우 도시고속도로뿐만 아니라 고속도로, 국도 등 다양한 등급의 도로가 존재할 뿐 아니라 이를 이용하는 사람들 역시 서울시민에만 한정되어 있는 것이 아니다. 그러므로 향후에는 더 많은 도로 등급과 서울시로 통행을 하는 사람들도 같이 고려하여야 한다.

■ 참 고 문 헌

- 고재경, 김희선(2009), “경기도 기후변화 취약성 평가 연구”, 경기개발연구원.
- 김성준(2009), “통행분포 특성을 반영한 고속도로 접근성 지표에 관한 연구”, 명지대학교 석사학위논문.
- 김찬성, 성홍모, 신성일(2005), “수도권 대중교통체계 개편 전·후 지하철 이용자의 접근성 변화를 모델링”, 대한교통학회 학술대회지 2005(3): 840-849.
- 김황배, 김시곤(2006), “접근성이론과 GIS 공간분석기법을 활용한 행정기관의 입지선정”, 대한토목학회지 26(3): 385-391.
- 송영석(2012), “홍수취약성과 도시침수특성의 정량적 관계”, 한서대학교 석사학위논문.
- 원광희(2003), “고속도로건설에 따른 지역간 접근성 변화 분석”, 한국도시행정학회 16(1): 49-81.
- 이금숙(1998), “지하철 접근성 증가의 공간적 파급효과 산출모형 개발”, 한국경제지리학회지 1(1): 137-149.
- 이문환(2010), “기후변화에 따른 국내 홍수 취약성 평가”, 세종대학교 석사학위논문.
- 이장호, 장수은(2005), 「지역간 통행의 효율성 제고를 위한 고속철도 이용증대방안 연구」, 한국교통연구원.
- 이춘희, 이주형(2006), “도시접근성 분석에 의한 공공시설입지정책의 시사점”, 지역연구 22(1): 113-133.
- 정상운(2010), “골프장 이용수요에 미치는 요인분석 및 수요추정모형의 개발”, 한양대학교 석사학위논문.
- 조혜진, 김강수(2007), “수도권 통근통행의 접근도 변화패턴 분석”, 대한지리학회지 42(6): 914-929.
- 하각천(2012), “복합재난의 취약성 평가에 관한 연구”, 서울시립대학교 석사학위논문.

- 하은지, 전철민(2012), “구배 기반 가중 접근성을 이용한 역세권 보행 네트워크 분석에 관한 연구”, 한국공간정보학회지 20(5): 77-89.
- 한근수(2012), “접근성을 반영한 대도시 통행발생 및 주거입지 패턴”, 한양대학교 박사학위논문.
- Allen, W.B. · Dong Liu · Singer, S.(1993), "Accessibility measure of U.S. metropolitan areas", *Transportation Research Part B*, 27(6): 439-449.
- Berdica, K.(2002), "An introduction to road vulnerability: what has been done, is done and should be done", *Transport Policy*, 10(1): 117-127.
- Cashili, S. and Montis, A.D(2013), "Accessibility and Complex Network Analysis of the U.S. commuting system", *Cities*, 30: 4-17.
- DHAC.(2001), "Measuring remoteness: Accessibility/remoteness index of Australia (ARIA) (REvised edition)", Occasional Paper, New Series no 14, Department of Health and Aged Care, Canberra.
- Geurs, K.T. and Wee, B.V.(2004), "Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions", *Journal of Transport Geography*, 12: 127-140.
- Gutierrez, J. · Coneco-Melhorado. A · Martin, J.C.(2010) "Using accessibility indicators and GIS to assess spatial spillovers of transport infrastructure investment", *Journal of Transport Geography*, 18: 141-152
- Hansen, W.G.(1959), "How Accessibility Shapes Land Use", *Journal of the American Institute of Planning*, 25: 73-76.
- Jenelius, E. · Petersen, T. · Mattsson, L.G.(2006), "Importance and exposure in road network vulnerability analysis", *Transportation Research Part A*, 40(7): 537-560.
- Jenelius, E.(2009), "Network structure and travel patterns: explaining the geographical disparities of road network vulnerability", *Journal of Transport Geography*, 17(3): 234-244.

- _____.(2010), “User inequity implications of road network vulnerability”, *Journal of Transport and Land Use*, 2(3): 57-73.
- Reggiani, A. · Bucci, P. · Russo, G. · Hass, A. · Nijkamp, P.(2011), “Regional labour markets and job accessibility in City Network systems in Germany”, *Journal of Transport Geography*, 19: 528-536.
- Snelder, M. · van Zuylen, H.J. · Immers, L.H.(2012), “A framework for robustness analysis of road networks for short term variations in supply”, *Transportation Research Part A*, 46(5): 828-842.
- Taylor, M.A.P. · Sekhar, S.V.C. · Glen M.D’Este.(2006), “Application of accessibility based methods for vulnerability analysis of strategic road networks”, *Network and Spatial Economic*, 6(3-4): 267-291.
- Taylor, M.A.P. · Susilawati.(2012), “Remoteness and accessibility in the vulnerability analysis of regional road networks”, *Transportation Research Part A*, 46(5): 761-771.
- Yang Luping and QIAN Dalin.(2012), “Vulnerability analysis of road networks”, *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 12(1): 105-110.

<부록 1> 도시고속도로 정산 결과

(단위: 대/일)

도로명	폐쇄 구간	실제 교통량	배정 교통량	오차율
내부 순환도로	성산 - 성산R	75,598	74,294	-2%
	성산R - 연희	124,264	113,605	-9%
	연희 - 홍제	147,939	134,516	-9%
	홍제 - 홍은	122,676	118,043	-4%
	홍지문T - 정릉T	156,007	156,588	2%
	정릉 - 길음	137,005	126,935	-7%
	길음 - 종암JC	102,185	95,519	-7%
	종암JC - 월곡	37,812	33,644	-11%
	월곡 - 마장	90,538	69,949	-23%
	마장 - 사근	59,335	52,017	-12%
	사근 - 성동JC	88,655	87,219	-2%
북부 간선도로	종암JC - 하월곡	66,201	61,875	-7%
	하월곡 - 월릉JC	109,418	103,142	-6%
	월릉JC - 묵동IC	61,091	77,245	26%
	묵동IC - 신내IC	123,021	119,490	-3%
	신내IC - 구리시계	113,216	122,794	8%
강변북로	가양 - 난지 IC	227,788	229,605	1%
	난지 IC - 성산	219,627	209,616	-5%
	성산 - 양화	217,615	209,736	-4%
	양화 - 서강	230,923	216,762	-6%
	서강 - 마포	214,323	211,352	-1%
	마포 - 원효	201,866	202,743	0%
	원효 - 한강	213,917	211,083	-1%
	한강 - 동작	261,317	250,908	-4%
	동작 - 반포	267,199	256,820	-4%
	한남 - 동호	201,871	200,971	0%

<부록 1 계속>

도로명	폐쇄 구간	실제 교통량	배정 교통량	오차율
강변북로	성수 - 영동	262,070	221,605	-15%
	영동 - 청담	189,520	257,267	36%
	청담 - 잠실	162,681	141,509	-13%
	잠실 - 잠실철교	163,920	122,720	-25%
	잠실철교 - 올림픽	123,945	115,096	-7%
	올림픽 - 천호	140,850	116,024	-18%
	천호 - 구리시계	90,908	84,693	-7%
올림픽대로	행주 - 방화	129,236	121,242	-6%
	방화 - 가양	149,296	139,962	-6%
	가양 - 성산	173,606	163,107	-6%
	성산 - 양화	172,991	160,683	-7%
	양화 - 여의하류	129,958	141,003	8%
	여의하류 - 여의상류	199,423	174,789	-12%
	한강 - 동작	257,748	220,958	-14%
	동작 - 반포	219,121	227,632	4%
	반포 - 한남	214,547	217,735	1%
	한남 - 동호	226,619	212,494	-6%
	동호 - 성수	229,562	227,176	-1%
	성수 - 영동	205,908	210,401	2%
	영동 - 청담	204,725	198,578	-3%
	청담 - 잠실	157,994	175,569	11%
	잠실 - 잠실철교	149,878	153,820	3%
	잠실철교 - 올림픽	169,699	163,916	-3%
	올림픽 - 천호	126,650	142,173	12%
	천호 - 강동	132,281	136,854	3%

<부록 1 계속>

도로명	폐쇄 구간	실제 교통량	배정 교통량	오차율
동부 간선도로	성수 JC - 성동 JC	241,722	210,470	-13%
	성동 JC - 군자교	134,705	123,249	-9%
	군자교 - 장안교	153,092	146,214	-4%
	장안교 - 중랑교	158,169	141,541	-11%
	중랑교 - 월릉 JC	157,900	163,720	4%
	월릉 JC - 월계1교	154,163	157,975	2%
	월계1교 - 녹천교	137,243	137,760	0%
	녹천교 - 창동교	116,405	125,742	8%
	창동교 - 상계교	108,987	118,148	8%
	상계교 - 노원교	104,515	112,277	7%
	노원교 - 수락	80,331	86,563	8%
	장지 IC - 수서 IC	152,986	161,549	6%
	수서 IC - 탄천 IC	134,115	146,496	9%
	탄천 IC - 청담남단	184,230	173,734	-6%
	청담남단 - 청담북단	126,710	142,459	12%
합 계		10,399,816	10,141,374	-2%

<부록 2> 구간별 총 통행시간 변화

(단위: 통행·분)

도로명	폐쇄 구간	총 통행시간	차이	순위
	기본	179,593,276	-	1
내부 순환도로	성산 - 성산R	180,160,319	567,042	22
	성산R - 연희	180,832,230	1,238,954	42
	연희 - 홍제	181,728,799	2,135,523	56
	홍제 - 홍은	181,390,780	1,797,504	51
	홍지문T - 정릉T	182,836,903	3,243,627	65
	정릉 - 길음	181,660,896	2,067,620	53
	길음 - 종암JC	180,651,084	1,057,808	35
	종암JC - 월곡	179,913,937	320,661	13
	월곡 - 마장	180,391,193	797,917	29
	마장 - 사근	180,067,510	474,233	18
	사근 - 성동JC	180,308,423	715,147	26
북부 간선도로	종암JC - 하월곡	179,809,058	215,781	8
	하월곡 - 월릉JC	179,962,804	369,528	16
	월릉JC - 묵동IC	179,732,715	139,439	4
	묵동IC - 신내IC	179,925,047	331,770	14
	신내IC - 구리시계	179,956,466	363,190	15
강변북로	가양 - 난지 IC	180,225,483	632,207	23
	난지 IC - 성산	180,088,082	494,806	20
	성산 - 양화	180,727,215	1,133,939	40
	양화 - 서강	180,994,773	1,401,496	44
	서강 - 마포	181,194,040	1,600,764	46
	마포 - 원효	181,729,307	2,136,031	57
	원효 - 한강	181,874,340	2,281,064	59
	한강 - 동작	182,637,644	3,044,368	64
	동작 - 반포	183,106,318	3,513,041	68
	한남 - 동호	182,098,253	2,504,977	62
	성수 - 영동	181,347,347	1,754,071	50
	영동 - 청담	181,547,351	1,954,075	52
	청담 - 잠실	180,376,381	783,105	28
	잠실 - 잠실철	180,102,227	508,951	21
	잠실철 - 올림픽	179,860,583	267,307	9
	올림픽 - 천호	179,894,109	300,832	12
	천호 - 구리시계	179,766,433	173,157	6

<부록 2 계속>

도로명	폐쇄 구간	총 통행시간	차이	순위
올림픽 대로	행주 - 방화	179,646,287	53,011	2
	방화 - 가양	179,886,246	292,969	11
	가양 - 성산	180,652,971	1,059,695	36
	성산 - 양화	181,203,563	1,610,287	47
	양화 - 여의하류	180,707,198	1,113,922	38
	여의하류 - 여의상류	181,675,898	2,082,622	54
	여의상류 - 한강	182,842,528	3,249,251	66
	한강 - 동작	182,844,350	3,251,074	67
	동작 - 반포	183,116,860	3,523,584	69
	반포 - 한남	182,518,699	2,925,423	63
	한남 - 동호	181,876,276	2,282,999	60
	동호 - 성수	181,694,240	2,100,964	55
	성수 - 영동	181,347,189	1,753,913	49
	영동 - 청담	181,240,832	1,647,556	48
	청담 - 잠실	180,735,213	1,141,936	41
	잠실 - 잠실철	180,500,216	906,940	30
	잠실철 - 올림픽	180,697,558	1,104,281	37
	올림픽 - 천호	180,312,528	719,252	27
	천호 - 강동	180,067,751	474,475	19
동부간선 도로	성수JC - 성동JC	181,845,487	2,252,211	58
	성동JC - 군자교	181169172.8	1575896.53	45
	군자교 - 장안교	180,646,330	1,053,053	34
	장안교 - 중랑교	180,545,235	951,958	31
	중랑교 - 월릉JC	180,593,806	1,000,530	33
	월릉JC - 월계1교	180,557,046	963,770	32
	월계1교 - 녹천교	180,248,534	655,258	24
	녹천교 - 창동교	179,870,786	277,510	10
	창동교 - 상계교	179,774,650	181,374	7
	상계교 - 노원교	179,764,104	170,828	5
	노원교 - 수락	179,684,767	91,491	3
	장지IC - 수서IC	179,998,813	405,537	17
	수서IC - 탄천IC	180,301,746	708,470	25
	탄천IC - 청담남단	180,725,270	1,131,994	39

<부록 3> 구간별 총 통행거리 변화

(단위: 통행·km)

도로명	폐쇄 구간	총 통행거리	차이	순위
	기본	79,431,536	-	48
내부 순환도로	성산 - 성산R	79,365,390	-66,146	31
	성산R - 연희	79,322,874	-108,662	18
	연희 - 홍제	79,259,429	-172,107	6
	홍제 - 홍은	79,209,492	-222,044	4
	홍지문T - 정릉T	79,123,548	-307,988	1
	정릉 - 길음	79,160,619	-270,918	2
	길음 - 종암JC	79,237,569	-193,968	5
	종암JC - 월곡	79,322,874	-108,662	17
	월곡 - 마장	79,344,274	-87,262	25
	마장 - 사근	79,336,538	-94,998	22
	사근 - 성동JC	79,339,654	-91,882	24
북부 간선도로	종암JC - 하월곡	79,472,507	40,971	62
	하월곡 - 월릉JC	79,453,523	21,986	56
	월릉JC - 묵동IC	79,446,492	14,956	52
	묵동IC - 신내IC	79,441,637	10,101	51
	신내IC - 구리시계	79,431,313	-224	47
강변북로	가양 - 난지 IC	79,472,849	41,312	63
	난지 IC - 성산	79,314,361	-117,176	13
	성산 - 양화	79,306,091	-125,446	9
	양화 - 서강	79,346,353	-85,183	26
	서강 - 마포	79,402,432	-29,104	36
	마포 - 원효	79,336,641	-94,895	23
	원효 - 한강	79,365,636	-65,900	32
	한강 - 동작	79,316,351	-115,186	14
	동작 - 반포	79,318,121	-113,415	16
	한남 - 동호	79,314,271	-117,265	12
	성수 - 영동	79,291,758	-139,778	8
	영동 - 청담	79,355,701	-75,835	28
	청담 - 잠실	79,377,328	-54,208	33
	잠실 - 잠실철	79,361,487	-70,050	29
	잠실철 - 올림픽	79,384,970	-46,566	35
	올림픽 - 천호	79,403,096	-28,440	37
	천호 - 구리시계	79,403,666	-27,870	38

<부록 3 계속>

도로명	폐쇄 구간	총 통행거리	차이	순위
올림픽 대로	행주 - 방화	79,460,916	29,380	60
	방화 - 가양	79,412,909	-18,628	42
	가양 - 성산	79,364,410	-67,127	30
	성산 - 양화	79,271,318	-160,218	7
	양화 - 여의하류	79,317,791	-113,746	15
	여의하류 - 여의상류	79,312,553	-118,983	10
	여의상류 - 한강	79,327,446	-104,090	21
	한강 - 동작	79,326,856	-104,680	20
	동작 - 반포	79,312,650	-118,886	11
	반포 - 한남	79,325,185	-106,351	19
	한남 - 동호	79,347,074	-84,462	27
	동호 - 성수	79,427,165	-4,371	46
	성수 - 영동	79,418,163	-13,373	44
	영동 - 청담	79,458,227	26,690	59
	청담 - 잠실	79,455,489	23,953	57
	잠실 - 잠실철	79,438,762	7,226	50
	잠실철 - 올림픽	79,462,619	31,083	61
	올림픽 - 천호	79,451,249	19,713	55
	천호 - 강동	79,410,226	-21,310	41
동부간선 도로	성수JC - 성동JC	79,191,807	-239,730	3
	성동JC - 군자교	79,779,143	347,607	69
	군자교 - 장안교	79,381,500	-50,036	34
	장안교 - 중랑교	79,408,750	-22,787	40
	중랑교 - 월릉JC	79,449,571	18,035	53
	월릉JC - 월계1교	79,418,489	-13,047	45
	월계1교 - 녹천교	79,407,758	-23,779	39
	녹천교 - 창동교	79,416,420	-15,116	43
	창동교 - 상계교	79,438,552	7,016	49
	상계교 - 노원교	79,455,547	24,011	58
	노원교 - 수락	79,449,899	18,363	54
	장지IC - 수서IC	79,576,694	145,158	66
	수서IC - 탄천IC	79,578,448	146,911	67
	탄천IC - 청담남단	79,605,176	173,640	68

<부록 4> 구간별 접근성 지표 변화

도로명	폐쇄 구간	접근성 지표	차이	순위
내부 순환도로	기본	4,371.42	-	1
	성산 - 성산R	4,365.34	-6.08	3
	성산R - 연희	4,361.45	-9.97	8
	연희 - 홍제	4,350.88	-20.54	40
	홍제 - 홍은	4,357.80	-13.62	19
	홍지문T - 정릉T	4,342.48	-28.94	57
	정릉 - 길음	4,342.53	-28.89	56
	길음 - 종암JC	4,347.59	-23.82	51
	종암JC - 월곡	4,366.52	-4.90	2
	월곡 - 마장	4,352.67	-18.75	32
	마장 - 사근	4,362.78	-8.64	7
	사근 - 성동JC	4,358.89	-12.53	14
북부 간선도로	종암JC - 하월곡	4,359.24	-12.17	12
	하월곡 - 월릉JC	4,340.80	-30.62	59
	월릉JC - 묵동IC	4,353.73	-17.69	29
	묵동IC - 신내IC	4,349.80	-21.62	44
	신내IC - 구리시계	4,361.04	-10.38	10
강변북로	가양 - 난지 IC	4,350.52	-20.89	43
	난지 IC - 성산	4,351.58	-19.84	36
	성산 - 양화	4,336.39	-35.02	62
	양화 - 서강	4,343.56	-27.86	55
	서강 - 마포	4,348.45	-22.97	49
	마포 - 원효	4,349.72	-21.70	45
	원효 - 한강	4,354.93	-16.49	24
	한강 - 동작	4,351.67	-19.75	35
	동작 - 반포	4,348.62	-22.80	48
	한남 - 동호	4,353.25	-18.17	30
	성수 - 영동	4,352.48	-18.94	33
	영동 - 청담	4,339.63	-31.79	60
	청담 - 잠실	4,339.44	-31.98	61
	잠실 - 잠실철	4,348.82	-22.60	47
	잠실철 - 올림픽	4,354.11	-17.31	28
	올림픽 - 천호	4,358.93	-12.49	13
	천호 - 구리시계	4,357.36	-14.06	20

<부록 4 계속>

도로명	폐쇄 구간	접근성 지표	차이	순위
올림픽 대로	행주 - 방화	4,365.24	-6.18	4
	방화 - 가양	4,360.33	-11.09	11
	가양 - 성산	4,351.40	-20.02	38
	성산 - 양화	4,351.50	-19.91	37
	양화 - 여의하류	4,358.16	-13.25	18
	여의하류 - 여의상류	4,345.45	-25.97	54
	여의상류 - 한강	4,340.86	-30.56	58
	한강 - 동작	4,346.94	-24.48	52
	동작 - 반포	4,346.94	-24.48	53
	반포 - 한남	4,356.03	-15.39	22
	한남 - 동호	4,355.71	-15.71	23
	동호 - 성수	4,350.84	-20.58	41
	성수 - 영동	4,351.16	-20.26	39
	영동 - 청담	4,352.71	-18.71	31
	청담 - 잠실	4,350.79	-20.63	42
	잠실 - 잠실철	4,354.36	-17.06	26
	잠실철 - 올림픽	4,349.59	-21.83	46
	올림픽 - 천호	4,351.71	-19.70	34
	천호 - 강동	4,354.26	-17.16	27
동부간선 도로	성수JC - 성동JC	4,327.32	-44.10	69
	성동JC - 군자교	4,326.08	-45.34	68
	군자교 - 장안교	4,334.16	-37.26	63
	장안교 - 중랑교	4,330.46	-40.96	65
	중랑교 - 월릉JC	4,330.39	-41.03	66
	월릉JC - 월계1교	4,330.20	-41.22	67
	월계1교 - 녹천교	4,333.57	-37.85	64
	녹천교 - 창동교	4,348.45	-22.97	50
	창동교 - 상계교	4,354.78	-16.64	25
	상계교 - 노원교	4,358.31	-13.11	17
	노원교 - 수락	4,363.69	-7.73	6
	장지IC - 수서IC	4,361.22	-10.20	9
	수서IC - 탄천IC	4,358.87	-12.55	15
	탄천IC - 청담남단	4,356.07	-15.35	21

Abstract

Vulnerability Assessment of Road
Networks Using Accessibility Measures

-Focused on the Urban Expressway in Seoul-

Advised by

Prof. Chang, Justin Sueun

submitted by

Lee, Sang Jo

February, 2015

Department of Environmental Planning
Graduate School of Environmental Studies
Seoul National University

Abstract

The development of road transportation network brings us convenience and benefits. However, when it is disrupted by natural or human disasters, it affects us adversely. For this reason, internationally many studies on disaster vulnerability and road transportation network. Domestically, it is also true that road transportation network is vulnerable to disasters and traffic accidents, but research and discussion in this regard has been not enough. Therefore, this study is aimed at assessing vulnerability of road transportation network. The study examines vulnerable links using a method that compares accessibility index composed of total travel time and total travel distance under two scenarios: when a part of Seoul urban expressway is closed and not closed. For the next step, factors affecting road vulnerability are roughly identified.

Total travel time is greatly increased when links that connect CBDs like Yeoui-do, GangNam and four main gates of old Seoul are closed. Total travel distance presents two different phenomena in respond to link disruption. The first one is that total travel distance is rather declined. The reason is that people who want to move other area choose shorter-time rather than shorter-distance path. The second one is that total travel distance is increased. Unlike a case that total travel time increases, links that total travel distance increases under road network disruption are located outside of Seoul. For accessibility index, Dongbu Expressway and part of Gangbyeon Expressway are ranked the lowest, and so these sections are defined as vulnerable links in Seoul. A thematic map regarding accessibility

index is similar to a thematic map regarding total travel index. This may be caused by lower road density and a travel impedance function used in a calculation of an accessibility index.

Results mentioned above are not based on a single factor. These results are rather triggered by diverse socio-economic factors such as number of workers, density of population, area of region, volume of traffic, etc.

However, assumption used in this study and limited choice in transport modes and study area remain as a limitation of this study.

- ◆ **Keywords** : Vulnerability, Road network, Accessibility measures, Travel impedance function, Seoul
- ◆ ***Student Number*** : 2012-22049